



**I Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem
Turma 2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR**

MARCIO AURELIO ALVES DA ROCHA

**RECUPERAÇÃO DE CAPAS DE ELETRODO PARA
PINÇAS DE SOLDA MANUAL, COM ESCALONAMENTO DE
CORRENTE.**

**CURITIBA
2013**

MARCIO AURELIO ALVES DA ROCHA

**RECUPERAÇÃO DE CAPAS DE ELETRODO PARA
PINÇAS DE SOLDA MANUAL, COM ESCALONAMENTO DE
CORRENTE.**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração fabricação.

Orientador: Professor Me. Hideraldo Luiz Osorio Branco

**CURITIBA
2013**

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCIO AURELIO ALVES DA ROCHA

RECUPERAÇÃO DE CAPAS DE ELETRODO PARA PINÇAS DE SOLDA MANUAL, COM ESCALONAMENTO DE CORRENTE.

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

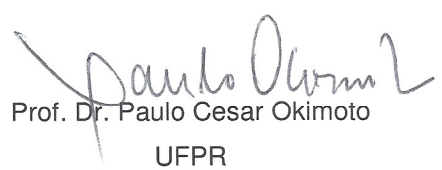
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Hélio Padilha
UFPR



Prof. Dr. Ramon Sigifredo Cortés Paredes
UFPR



Prof. Dr. Paulo Cesar Okimoto
UFPR

Curitiba, 31 de outubro de 2013.

Dedico esse trabalho a minha esposa Cleusimeri e meus filhos Vinicius e Izabelli, pois eles são a real fonte de inspiração em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu forças para a execução desse trabalho e a todos que direta ou indiretamente ajudaram-me a concluí-lo, em especial à minha família que muitas vezes privou-se de minha companhia concedendo a mim a dedicação ao estudo e a oportunidade de realização.

Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.

Mas se você não fizer nada,

Não existirão resultados.

Mahatma Gandhi

RESUMO

Quando se fala sobre pinça de solda à resistência, sejam manual ou automática, os eletrodos de solda são deformados pelos mais variados motivos, sejam eles:

- Alta solicitação térmica;
- Alta pressão;
- Deficiência de refrigeração;
- Tempo de solda muito alto;
- Intervalos entre pontos muito curtos;
- Formação da camada de difusão (latão);
- Baixa qualidade.

Algumas empresas que utilizam este processo de soldagem, quando os eletrodos estão deformados, procedem a troca dos mesmos, outras utilizam técnicas de retrabalho dos eletrodos no mesmo local de solda, porém, com procedimentos manuais sem controle da quantidade de material retirado e também não recuperam o perfil original do eletrodo.

Apesar do processo manual trazer algum ganho, devido à impossibilidade do controle a cima citado, problemas podem ser inseridos no processo de soldagem manual ocasionando perda de qualidade do produto.

A proposta deste trabalho é mostrar a implementação de uma fresadora de capas de eletrodo para pinças de solda manual com escalonamento de corrente, visando um aumento na quantidade de pontos de solda por capa sem prejudicar a qualidade.

Palavras-chave

- Solda à resistência;
- Eletrodos de solda ponto;
- Fresagem.

ABSTRACT

When talking about resistance welding gun , either manual or automatic, the welding electrodes are deformed by the most varied reasons, whether they are:

- High thermal request;
- High pressure;
- Deficient Cooling;
- Welding time too high;
- Intervals between spot welding very short;
- Formation of the diffusion layer (brass);
- Low quality of the electrode's material.

Some companies that use this welding process, when the electrodes are deformed, they change the electrode's caps, other companies use techniques rework the electrode's caps at the same location weld but with this manual procedure, don't have control of the amount of material removed and did not recover the original profile of the electrode caps.

Although the manual process bring some gain, due to impossibility of the control above quoted, problems can be inserted into manual welding process leading to loss quality of the product.

The purpose of this work is to show the electrode's milling machine implementation for manual welding gun with scaling, targeting an increase in the number of solder points per caps without sacrificing the quality

Keywords

- Resistance welding;
- Spot welding electrodes;
- Milling..

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Eletrodo com capa.....	16
FIGURA 2 Tipo de máquina de solda ponto (INTERMACHINERY, 2003).	22
FIGURA 3 Comando de solda.....	23
FIGURA 4 Elementos da soldagem à resistência (CRAGGS, 2002, INTERMACHINERY, 2003)	24
FIGURA 5 Processo de soldagem à resistência (SOLDAGEM À RESISTÊNCIA A PONTO, 2000) ...	26
FIGURA 6 Característica do ponto de solda (AGASHE, WELDING JOURNAL, JULHO 2003,)	26
FIGURA 7 Capa de eletrodo tipo cone truncado	29
FIGURA 8 Capa com desgaste e capa nova	30
FIGURA 9 Distribuição de temperatura ao longo da capa de eletrodo (YEUNG, WELDING JOURNAL, 1999)	31
FIGURA 10 Curva e estágios de corrente (MANUAL DE DRESSAGEM ETS, 2000.).....	32
FIGURA 11 Curva de corrente combinada com fresagens (MANUAL DE DRESSAGEM ETS, 2000.)33	
FIGURA 12 Capa nova, capa deformada e capa fresada	34
FIGURA 13 Fresagem lateral (TECNOWELDING, 2004.).....	38
FIGURA 14 Fresagem de topo e lateral (TECNOWELDING, 2004.).....	39
FIGURA 15 Fresagem manual (TECNOWELDING, 2004.).....	39
FIGURA 16 Fresagem automática (TECNOWELDING, 2004.).....	40
FIGURA 17 Fresagem Off-line (TECNOWELDING, 2004.).....	41
FIGURA 18 Fresadora para pinças manuais (SINTERLEGHE, 2012)	43
FIGURA 19 Lâmpada do painel de solda	44
FIGURA 20 Posicionamento da haste	44
FIGURA 21 Acionamento do pedal	45
FIGURA 22 Primeira fresadora semiautomática.....	47
FIGURA 23 Fresa com com 3 lâminas (SINTERLEGHE, 2011)	48
FIGURA 24 Fresadora semi-automática (SINTERLEGHE, 2011)	48
FIGURA 25 Dispositivo	49
FIGURA 26 Troca de capa de eletrodo.....	50
FIGURA 27 Capas trocadas.....	50
FIGURA 28 Corpo de prova	52
FIGURA 29 Corpo de prova inicial.....	53
FIGURA 30 Dispositivo de fixação.....	53
FIGURA 31 Tela de escalonamento de força	54
FIGURA 32 Dinamômetro	54
FIGURA 33 Amperímetro	55
FIGURA 34 Tela de escalonamento de corrente	55
FIGURA 35 Medição de vazão de água	56
FIGURA 36 Diâmetro do ponto de solda (VW 01105, 1998)	57
FIGURA 37 Medição do diâmetro dos pontos de solda (REU, 1997).....	58

FIGURA 38 Corpo de prova dobrado.....	60
FIGURA 39 Corpo de prova posicionado.....	60
FIGURA 40 Teste de arrancamento	61
FIGURA 41 Medição do ponto de solda	61
FIGURA 42 Durômetro.....	62
FIGURA 43 Altura H da capa.....	62
FIGURA 44 Qualidade dos pontos de solda x QTDE de fresagens dos intervalo 1 a 5.....	64
FIGURA 45 Qualidade dos pontos de solda x QTDE de fresagens dos intervalo 6 a 10.....	65
FIGURA 46 Politriz automática	67
FIGURA 47 Amostras metalográficas	68
FIGURA 48 Verificação de “saving”	70

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 Tabela 1 Classificação RWMA (INTERMACHINERY, 2002).....	35
Tabela 2 Quantidade de pontos	42
Tabela 3 Intervalos x QTDE de pontos de solda	60
Tabela 4 Medida "H" x QTDE de pontos nos respectivos intervalos de fresagem	62
Tabela 5 Resultados dos diâmetros x QTDE de pontos	63
Tabela 6 Resultados dos ensaios de dureza em Brinell	66
Tabela 7 Produtividade das capas sem fresagem X capas com fresagem	69

LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
AWS	American Welding Society
B	Distância mínima da borda
Cu	Cobre
CuCr	Cobre cromo
CuCrZr	Cobre Cromo Zircônio
CuZr	Cobre Zircônio
DIN	Deutsches Institut für Normung
dL	Diâmetro do ponto lentiforme
dLmin	Diâmetro mínimo do ponto lentiforme
dpmin	Diâmetro mínimo do ponto
E7	Chave de reset
ETS	Manual de Dressagem ETS.
FE	Força de soldagem
HB	Dureza brinell
Hz	Hertz
I	Corrente elétrica
IACS	International Annealed Copper Standard
Is	Corrente de solda em Amper
KA	kiloamper
Kg	Kilograma
KN	kilo Newton
L	Distância mínima entre pontos
L/min	Litros por minuto
m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetro
ms	Milisegundos
OFF	Desligado
ON	Ligado
Pts	Pontos de solda
Pçs	Peças
Qtde	Quantidade
R	Resistência elétrica
rpm	Rotações por minuto
RWMA	Resistance Welding Manufacturing Alliance
S	Espessura de chapa
s	Segundos
S1	Espessura 1
S2	Espessura 2
St06	Chapa de aço galvanizado
t	Tempo de duração da corrente elétrica
VAC	volt Amper corrente contínua
Zn	Zinco
UFTPR	Universidade Federal Tecnológica do Paraná
µm	Micrômetro
1F	Intervalo 1 final
1I	Intervalo 1 inicial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA	15
1.1.1	Delimitação geográfica do Tema	17
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS	17
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	JUSTIFICATIVA	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	CONCEITOS DE SOLDA À RESISTÊNCIA E ELETRODOS DE SOLDA.....	20
2.2	MÁQUINAS DE SOLDA À PONTO	22
2.2.1	Controlador de solda	23
2.2.2	Sistema mecânico	23
2.2.3	Circuito elétrico.....	24
2.3	CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO	24
2.4	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM À RESISTÊNCIA.....	25
2.5	ELETRODOS DE SOLDA	28
2.5.1	Perfil do eletrodo.....	28
2.6	GERAÇÃO DE CALOR	29
2.7	DESGASTE DOS ELETRODOS.....	30
2.7.1	Processo de fresagem de eletrodos	34
2.7.2	Composição dos eletrodos	35
2.7.3	Lâmina de corte.....	36
2.7.4	Velocidade de corte	36
2.7.5	Força para fechamento dos eletrodos.....	36
2.7.6	Controle de deformação	37
2.7.7	Vantagem de fresar o eletrodo.....	37
2.8	MÉTODOS DE FRESAGEM.....	39
2.8.1	Fresagem manual.....	39
2.8.2	Fresagem automática	40
2.8.3	Fresagem off-line.....	40
2.8.4	Intervalos de fresagem	42
3	DESCRIÇÃO DO PROJETO.....	43
3.1	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	43
3.2	DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO.....	44
3.3	DESCRIÇÃO DA FRESAGEM	45
3.4	BENEFÍCIOS	46
3.5	ANÁLISE DE NECESSIDADES:	46
3.5.1	Produção:	46
3.5.2	Eng. de processo:.....	46
3.5.3	Manutenção:.....	46
3.5.4	Implementação da fresadora	46
3.5.5	Protótipo	47
3.5.6	Configuração da fresadora	48
3.5.7	Descrição do procedimento de soldagem das peças.	49
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	51
4.1	CORPOS DE PROVA.....	52
4.2	EQUIPAMENTOS.....	53
4.3	DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO	53
4.4	CALIBRAÇÃO.....	54

4.4.1	Calibração de pressão	54
4.4.2	Calibração de Corrente.....	55
4.4.3	Verificação da refrigeração das capas	56
4.5	MATERIAIS	56
4.5.1	Material das capas de eletrodos	56
4.5.2	Material da chapa soldada.....	56
4.6	PARAMETRIZAÇÃO	57
4.7	MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DOS PONTOS DE SOLDA	57
4.7.1	Parâmetros antes da instalação da fresadora.....	58
4.7.2	Parametrização após a instalação da fresadora	59
4.8	INTERVALO DE FRESAGEM	59
4.9	TESTE DOS CORPOS DE PROVA.....	60
4.10	MEDIÇÃO DE DUREZA DAS CAPAS	61
5	RESULTADOS.....	63
5.1	DIÂMETRO DOS PONTOS DE SOLDA	63
5.2	ANÁLISE VISUAL	64
5.3	DUREZA DAS CAPAS DE ELETRODO.....	65
5.4	METALOGRAFIA	66
5.5	VERIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DAS CAPAS COM AS FRESAGEM	68
6	CONCLUSÕES	71
6.1	IMPLEMENTAÇÃO DA FRESADORA;.....	71
6.2	QUALIDADE DOS PONTOS DE SOLDA;.....	71
6.3	DUREZA;.....	71
6.4	PRODUTIVIDADE DAS CAPAS;	72
6.5	VIABILIDADE ECONÔMICA;.....	72
7	TRABALHOS FUTUROS	74
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Segundo (Limert, 2001), a soldagem a ponto à resistência elétrica é um processo de soldagem no qual a junção de metais é produzida em superfícies sobrepostas pelo calor gerado pela resistência do material à passagem de corrente elétrica. Uma força é sempre aplicada por eletrodos, antes, durante e após a aplicação da corrente para restringir a área de contato da solda nas superfícies sobrepostas.

As superfícies em contato na região de concentração de corrente são aquecidas por um curto pulso de baixa tensão e alta corrente para formar uma região fundida de metal de solda, que recebe o nome de lente de solda.

Quando o fluxo de corrente cessa, a força de eletrodo é mantida enquanto o metal de solda rapidamente resfria e solidifica. Os eletrodos se afastam após cada solda, que usualmente é efetuada numa fração de segundos. A forma e o diâmetro das lentes de solda formadas são limitados, fundamentalmente, pelo diâmetro e contorno da face do eletrodo.

Os eletrodos desempenham um papel vital na geração de calor porque eles conduzem a corrente de soldagem até o material. No caso de soldagem a ponto, a área de contato do eletrodo controla amplamente a densidade de corrente de soldagem e o diâmetro resultante da lente de solda. Os eletrodos devem ter boa condutibilidade elétrica, mas devem também ter resistência mecânica e dureza adequada para resistir à deformação causada por aplicações repetidas (KARAGOULIS, 2000).

Para (Marques, 1991) à medida que o eletrodo se desgasta, o diâmetro da superfície de contato aumenta, a pressão bem como a densidade de corrente elétrica diminuem rapidamente com a deformação na superfície de contato. Para garantir a qualidade, o eletrodo deve ser usinado até atingir sua configuração original. Existem várias ferramentas manuais ou automáticas disponíveis para efetuar esse trabalho, o melhor método é remover os eletrodos e retrabalhá-los com uma fresa até que as dimensões originais sejam atingidas.

Algumas indústrias utilizam a técnica de comando programado na qual a soldagem é interrompida em função de um número de pontos de solda pré-

determinado. A cada interrupção, a corrente é aumentada e com isso, a vida do eletrodo é prolongada. Outra técnica para prolongar a vida útil dos eletrodos é o uso de capas de eletrodos e de refrigeração com água. Essas capas de eletrodos são peças descartáveis em forma esférica e fixadas na ponta do eletrodo através de cone ISO, assim como mostra a FIGURA 1.

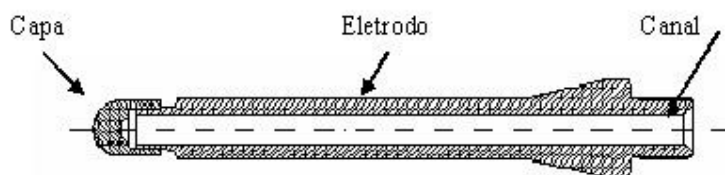


FIGURA 1 Eletrodo com capa

As capas de eletrodo são fabricadas com ligas de cobre, geralmente cobre e zircônio ou cobre, cromo e zircônio, com resistência ao calor e a solicitação mecânica. Quando estas capas de eletrodo chegam ao fim de sua vida útil, elas podem ser fresadas e usadas novamente como é o caso das capas de eletrodos utilizadas em máquinas de solda automáticas (pinças de solda automáticas), ou descartadas quando utilizadas em máquinas de solda manuais (pinças de solda manuais). Assim sendo, o eletrodo que é a peça mais cara, tem a sua vida útil prolongada. Apesar das técnicas utilizadas para prolongar a vida útil das capas de eletrodos, estas sempre apresentarão deformação pois esta deformação é parte inerente do processo de soldagem à resistência.

Neste trabalho será exposto o projeto de um equipamento para recuperar as capas de eletrodos utilizadas em máquinas de solda manual (pinças manuais) e deformadas pelo uso no processo de soldagem à resistência, deixando-as novamente em condições de uso para a produção. Devido à complexidade do sistema para controle dessa fresagem e variedade de tipos de equipamentos utilizados na solda à resistência, as empresas que utilizam máquinas de solda manual (pinças de solda), não executam o processo de fresagem no local ou algumas até adotam uma fresagem com equipamentos manuais, porém, como os

resultados com essas ferramentas é muito ruim, acabam mesmo descartando as capas sem executar a devida limpeza.

1.1.1 Delimitação geográfica do Tema

O trabalho de pesquisa em questão será realizado em uma empresa do ramo automobilístico, situada em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba, na área que é responsável pela soldagem das carrocerias dos veículos.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A manutenção das capas de eletrodos é necessária para a produção de soldas satisfatórias. Um aumento anormal no diâmetro da ponta do eletrodo que está em contato com o material (capa de eletrodo), devido à sua deformação, é prejudicial à resistência e à qualidade da solda. Por exemplo, se uma face da capa de eletrodo com 6,35 mm de diâmetro for aumentada para 7,94 mm de diâmetro devido à deformação (*mushrooming*), a área de contato aumentará 50% com um decréscimo na densidade de corrente e pressão. O resultado pode ser soldas sem resistência mecânica adequada e com defeitos internos.

Uma vez que a capa de eletrodo esteja fora de suas especificações, deve ser retirada para restauração ou, dependendo do seu estado, para substituição definitiva (MATERELS, 2003).

Em virtude do problema acima citado, surge a principal questão de pesquisa.

Como recuperar as capas de eletrodos deformadas pelo uso da soldagem à resistência em máquinas de solda manuais?

Pela execução de fresagem no próprio posto de trabalho? Por execução da fresagem em um torno convencional ou proceder tal fresagem em um equipamento próprio e automático para fresagem de capas de eletrodos?

Acreditava-se em 2007 que para recuperar as capas deformadas utilizadas em pinças manuais, o método mais viável seria a remoção das capas para serem fresadas fora da linha de produção, não interferindo assim no processo de solda já instalado.

Na ocasião o autor dessa monografia, fez em conjunto com Joelcio Turqueti e Rosane Zimmermann da Mota, um trabalho acadêmico de graduação da UFTPR sobre a construção e implementação de um equipamento capaz de recuperar as capas de eletrodos deformadas.

Esse trabalho considerou que seria viável a remoção das capas após o uso e seu envio para o local de instalação do equipamento onde as capas seriam recuperadas.

Infelizmente, nos primeiros testes com as capas recuperadas surgiram dois problemas que tornaram o projeto inviável.

Problema de logística:

Como a quantidade de pontos de solda de uma máquina de solda é diferente de outra dentro da mesma estação, haveria a possibilidade da utilização de capas de eletrodo fresada e capas de eletrodo novas ao mesmo tempo, sendo necessária uma atenção maior dos operadores para segregar capas utilizadas uma e duas vezes.

Caso houvesse falha nessa segregação, poderiam ocorrer problemas de qualidade de solda.

Problema de dimensional:

A deformação do cone de acoplamento da capa de eletrodo com a haste eletrodo foi um problema maior e determinante na inviabilidade do trabalho proposto.

Quando a capa de eletrodo é acoplada na primeira vez, o cone está em sua forma original, portanto ocorre o acoplamento perfeito, sem vazamento de água e nem o desacoplamento involuntário da capa de eletrodo do eletrodo.

Após a retirada da capa de eletrodo, ela era acoplada novamente em um eletrodo no equipamento para a execução da fresagem, quando essa capa fresada chegava na estação de trabalho, o cone de acoplamento estava deformado (desgastado). Isso ocasionava o desacoplamento da capa de eletrodo ou muitas vezes ocorria um vazamento de água pelo cone.

Após a verificação desses problemas, o projeto tornou-se inviável.

Com esse trabalho, pretende-se mostrar que a melhor alternativa, para a recuperação das capas de eletrodo danificadas pelo processo de soldagem é a fresagem no próprio posto de trabalho com um equipamento que controle a quantidade de material removido e também a pressão de fresagem.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor um equipamento semiautomático para fresagem das capas de eletrodos deformadas utilizadas em pinças manuais.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Descrever a implementação de uma fresadora para pinças manuais em uma linha de produção;
- Verificação da produtividade das capas de eletrodos fresadas.
- Análise da viabilidade econômica, no que diz respeito à melhoria de produtividade das capas de eletrodos.

1.4 JUSTIFICATIVA

A linha de produção automobilística que utiliza o processo de soldagem à resistência com pinças de solda manuais, não utilizava nenhum tipo de recuperação das capas de eletrodo deformadas com o uso, eram descartadas após o fim da vida útil. Devido ao grande número de capas utilizadas, em geral cento e vinte cinco mil capas por mês, para uma produção de seiscentos carros/dias, o custo do processo de soldagem torna-se elevado e qualquer redução de custo nesse processo causa um grande impacto no produto final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS DE SOLDA À RESISTÊNCIA E ELETRODOS DE SOLDA

Segundo (MARQUES, 1991) as mais antigas notícias que se tem sobre a soldagem estão em uma peça do Museu do Louvre em Paris, um pingente de ouro com indicações de solda, feito na Pérsia (4.000 AC). Tem-se também a soldagem por forjamento da "Espada de Damasco" (1.300 AC) e a utilização de uma espécie de maçarico soprado pela boca, usado para fundir e soldar bronze, técnica legada a gregos e romanos.

A arqueologia tem revelado obras metálicas soldadas, de difícil aplicação operacional, tendo em vista as poucas disponibilidades técnicas daqueles tempos: é o caso dos pilares de ferro da cidade de Delhi, na Índia. Ali existe um pilar de sete metros de altura e mais de cinco toneladas, fabricado por forjamento, soldado da seguinte maneira: os blocos eram aquecidos ao rubro, colocava-se areia entre eles e martelava-se até a formação da solda.

Datas importantes que marcaram a história da solda:

1801 - Sir Humphrey Davy cria um arco elétrico entre os terminais de um circuito.

1836 - Edmund Davy descobre o gás Acetileno e, mais tarde, Wohler descobria a forma de obtenção desse mesmo gás, a mistura de água e carbureto de Cálcio.

1847 - Hare funde 1 kg de platina com um maçarico oxi-hídrico (oxigênio + hidrogênio).

1877 - Thonson sistematiza e estuda a soldagem à resistência.

1885 - Bernardos usa o eletrodo de carvão para fusão localizada do aço, realizando também a primeira soldagem a ponto à resistência com o eletrodo de carvão.

1895 - Le Chatelier estuda a chama oxiacetilênica e prevê suas aplicações industriais.

Segundo (AWS, 2001) citado por (Limert, 2001) a definição de soldagem é:

"Processo de união de materiais usado para obter coalescência localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada,

com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”. (AWS, 2001, apud LIMERT, 2001).

Para (WAINER, 1992) o processo de soldagem à resistência compreende um ramo da arte de soldagem no qual o calor de soldagem necessário ao processo é gerado pela resistência oferecida pelas partes a serem soldadas à passagem da corrente elétrica. Este fato torna este processo diferente dos demais já que nenhum material externo, como fluidos ou arames é utilizado. Portanto, a metalografia da solda não é complicada de se observar uma vez que não ocorre adição de material externo. Além disso, o processo de soldagem à resistência difere dos processos de soldagem por fusão ao utilizar força mecânica para forjar e unir as peças. O efeito da força é refinar a estrutura dos grãos, produzindo, desta forma, uma solda com propriedades físicas, na maioria dos casos, iguais ao metal de origem e em alguns outros casos com qualidade até mesmo superior.

Um dos princípios da soldagem à resistência, segundo (WAINER, 1992) é gerar o calor na região da solda de forma rápida para que a quantidade mínima de calor seja dissipada mediante condução para o material adjacente mais frio. Para que isto ocorra, é necessária uma alta taxa de geração de calor e isto é obtido mediante passagem de alta corrente pela região de solda durante um curto intervalo de tempo. Um outro princípio é gerar muito mais calor na região de solda do que em qualquer outra região do circuito secundário da máquina de solda.

Ainda segundo (WAINER, 1992), a resistência entre as chapas que estão sendo soldadas deve ser maior do que aquela entre o eletrodo e a chapa. Caso contrário, a ponta do eletrodo seria soldada à superfície da chapa. É por esta razão que se devem utilizar eletrodos com maior condutibilidade quando se soldam metais de alta condutibilidade.

De acordo com o manual (Intermachinery, 2002), os eletrodos utilizados na soldagem a ponto à resistência elétrica apresentam três funções fundamentais:

1. Conduzir a corrente de soldagem até as chapas;
2. Transmitir a força necessária às chapas na área de solda para produzir uma lente de solda satisfatória;
3. Dissipar rapidamente o calor da zona de solda.

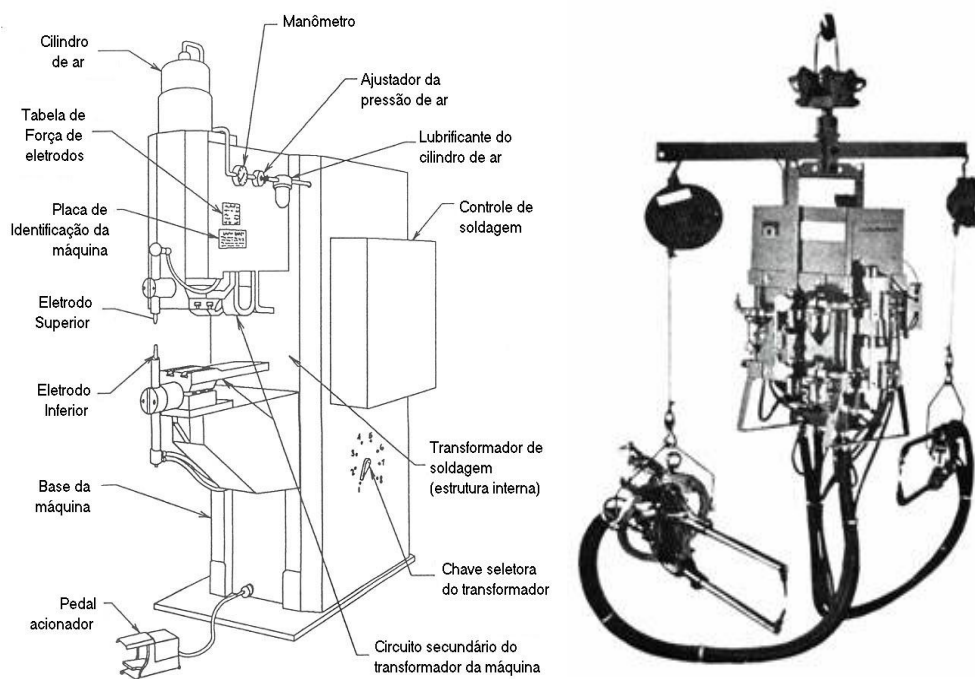
Ainda de acordo com o manual (Intermachinery, 2002), o processo de retrabalho dos eletrodos consiste em submeter os eletrodos deformados a uma fresa

giratória (elétrica ou pneumática) que irá retirar, pelo processo de desbaste, à parte danificada dos eletrodos e ao mesmo tempo devolver a forma inicial dos mesmos.

2.2 MÁQUINAS DE SOLDA À PONTO

O equipamento utilizado para realizar os pontos de solda é chamado de máquina de solda a ponto. Podendo ser estacionária, como mostra a FIGURA 2 “a” ou pode ser uma máquina de solda a ponto suspensa, também chamada de pinça de solda, como mostra a FIGURA 2 “b”.

As formas construtivas dos dois tipos de máquinas de solda são diferentes, porém, o funcionamento é semelhante e obedecem aos mesmos padrões de regulação.



a: Máquina estacionária.

b: Máquina suspensa.

FIGURA 2 Tipo de máquina de solda ponto (INTERMACHINERY, 2003).

As máquinas utilizadas em soldagem à resistência são compostas por três elementos básicos: circuito de controle (Controlador de solda), sistema mecânico e circuito elétrico (INTERMACHINERY, 2003).

2.2.1 Controlador de solda

O Controlador de solda é um equipamento eletrônico que fica separado da pinça de solda, porém conectado na pinça através de um cabo de comando conforme FIGURA 3.

Esse controlador é quem comanda o disparo, quantidade e tempo da corrente elétrica através do circuito elétrico, de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos no programa, bem como controla o fechamento e abertura do mecanismo de força do eletrodo no tempo adequado.



FIGURA 3 Comando de solda

2.2.2 Sistema mecânico

O sistema mecânico é composto por meios hidráulicos, pneumáticos, magnéticos ou mecânicos e são responsáveis pela aplicação da força do eletrodo. O sistema mecânico de uma máquina de solda a ponto deve garantir que a velocidade de aproximação dos eletrodos seja rápida, porém controlada, de forma a evitar que as faces de contato dos eletrodos sejam danificadas por pancadas repetitivas.

2.2.3 Circuito elétrico

O circuito elétrico é composto de um transformador e um circuito secundário. O circuito secundário inclui os eletrodos que conduzem a corrente de soldagem até o material, como se pode ver na FIGURA 4 (CRAGGS, 2002, INTERMACHINERY, 2003).

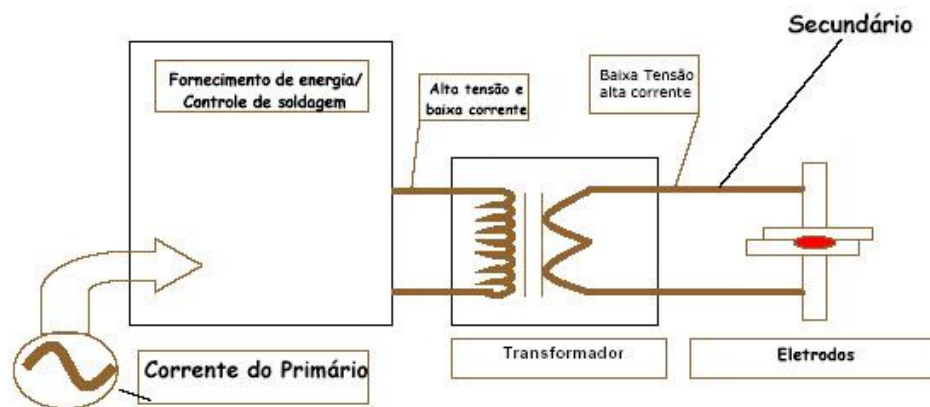


FIGURA 4 Elementos da soldagem à resistência (CRAGGS, 2002, INTERMACHINERY, 2003).

2.3 CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO

A alta intensidade de corrente utilizada na soldagem de aços galvanizados pode resultar em um superaquecimento dos eletrodos caso o resfriamento seja inadequado. O superaquecimento do material do eletrodo à base de cobre faz com que a dureza da liga diminua e, por esta razão, um processo de deformação da face de contato do eletrodo inicia a uma taxa acelerada. Além disso, o zinco se combina mais rapidamente com o cobre do eletrodo, formando uma liga, à medida que a temperatura aumenta.

Para manter os valores de temperatura próximos à temperatura ambiente entre duas soldas sucessivas, a vazão de água recomendada para os eletrodos superior e inferior variam geralmente de 4 a 6 litros por minuto, (REU, 1997, TECNOWELDING, 2004) citado por (Branco, 2004).

2.4 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM À RESISTÊNCIA

O princípio da soldagem à resistência é bastante simples, combinando-se a aplicação de calor e pressão para se produzir um ponto de solda (CHIEN, 2002). A preocupação na soldagem à resistência é a aplicação adequada de seus princípios.

O termo “Soldagem à Resistência” é proveniente de uma propriedade elétrica chamada resistência, que dificulta a passagem do fluxo de corrente elétrica no metal a ser soldado, promovendo a geração de calor. Esta resistência ao fluxo de corrente é a fonte geradora de calor na soldagem à resistência. Para realizar uma solda a ponto, que é uma subclassificação de soldagem à resistência, duas chapas ou mais, são colocadas sobrepostas, sendo pressionadas por eletrodos para garantir um bom contato elétrico (AWS, 1997, INTERMACHINERY, 2003, SCHARFF, 1990).

A FIGURA 5 mostra a seqüência básica de um ciclo de soldagem a ponto. Sendo “F” a força de soldagem e “IS” a corrente de soldagem. O tempo compreendido entre as fases 1 e 6 chamam-se tempo de soldagem. Na etapa 1, os eletrodos iniciam o processo de descida para que as chapas sejam pressionadas. As chapas devem ser pressionadas de tal forma que ocorra um bom assentamento e evite problemas como expulsão de metal fundido da zona de solda, este processo ocorre na etapa 2. Na etapa 3, os eletrodos são mantidos sobre pressão e a corrente de soldagem é liberada, inicia-se então o processo de formação do ponto de solda. Na etapa 4, o ponto de solda já formado, a corrente de soldagem é desligada, porém os eletrodos são mantidos sobre pressão para que o ponto de solda solidifique. Após a solidificação do ponto de solda, a força de soldagem aplicada pelos eletrodos é desligada até a abertura total dos eletrodos, esse processo ocorre nas etapas 5 e 6.

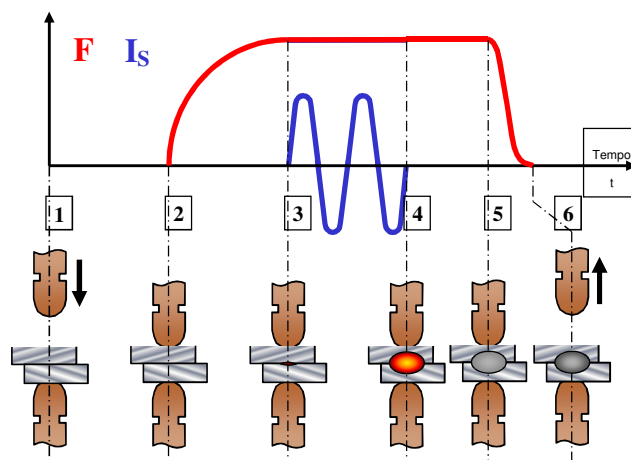


FIGURA 5 Processo de soldagem à resistência (SOLDAGEM À RESISTÊNCIA A PONTO, 2000).

Após a conclusão do ciclo de soldagem, um ponto de solda deverá ter sido formado, como mostrado na FIGURA 6. O ponto de solda e a região da solda devem ter algumas características. Tais como apresentar um diâmetro mínimo especificado por norma, bem como uma profundidade de penetração na área soldada. A indentação é a uma impressão deixada pelos eletrodos na chapa durante o processo de soldagem, sendo desejável que ela seja a mínima possível (AGASHE, 2003, ZHOU, 2003).

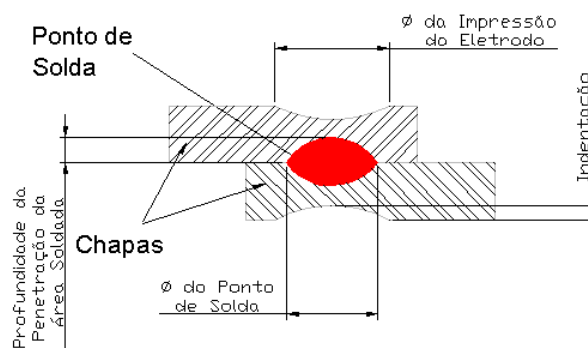


FIGURA 6 Característica do ponto de solda (AGASHE, WELDING JOURNAL, JULHO 2003,).

A solda a ponto envolve uma aplicação coordenada de corrente elétrica e força de eletrodo de magnitudes e durações próprias. A corrente de soldagem deve passar pelos eletrodos e chapas, aquecendo-as até fundir a região entre os eletrodos, para formar o ponto de solda. A corrente de soldagem é então desligada e ponto de solda se solidifica, formando uma união metálica sólida entre as chapas (AWS, 1997, INTERMACHINERY, 2003).

As seqüências de operações devem primeiro desenvolver calor suficiente para transformar um volume confinado de metal para o estado líquido. Esse metal é, então, resfriado, enquanto sob pressão dos eletrodos, até que tenha resistência adequada para manter as partes unidas. A densidade de corrente, que é a quantidade de corrente de soldagem que passa pela área de contato do eletrodo, e a força dos eletrodos, devem ser tais que um ponto de solda seja formado, mas não tão altas que o metal possa ser expelido da zona fundida. O tempo de aplicação da corrente de soldagem não deve ser muito longo para evitar um aquecimento excessivo da superfície do eletrodo. Tal aquecimento pode provocar adesão entre o material base e o eletrodo, expulsão de material na superfície de contato do eletrodo com a chapa e / ou entre as chapas, fusão da chapa na superfície, reduzindo assim, a vida útil dos eletrodos e comprometendo a qualidade dos pontos de solda (AWS, 1997).

Conforme a norma (DIN 55350), a definição de qualidade para um ponto de solda é: “Uma qualidade desejada resulta de um processo seguro, quando os parâmetros da soldagem correspondem com os materiais”. Para defeitos de soldagem, conforme (DIN 8532) entende-se: “Irregularidades na união soldada bem como desvios do previsto para a forma e posição da união e do ponto (lentilha) ou costura” (AWS, 1997).

Segundo (BLAKELEY, 2000; BOSCH, 1998). para se obter um ponto de solda de qualidade existem alguns parâmetros que se devem programar no módulo controlador de solda localizado no painel de comando como: pressão, pré-pressão, tempo de solda, pós-pressão, tempo de pausa e controle de potência. Cada ciclo deve ser precisamente controlado mesmo que dure apenas uma fração de segundos, pois estes aspectos podem ter seus resultados alterados quando a capa do eletrodo altera suas dimensões em face do acúmulo de resíduos diminuindo a condutibilidade e aumentando sua área de contato, onde o tempo dos parâmetros é medido em ciclos ou milissegundos, a Figura 15, mostra o tempo de solda para execução de um ponto de solda.

De acordo com (BRANCO, 2004), além de introduzir os parâmetros de soldagem no controlador de solda para realizar soldas que atendam o diâmetro mínimo especificado pela norma, o procedimento de parametrização de máquinas também inclui a verificação de alguns itens da máquina que podem gerar problemas durante

o processo de soldagem. Esta verificação consiste em medir a vazão da água de refrigeração que passará pelos eletrodos, alinhamentos dos eletrodos, verificação se há fugas de corrente quando for realizar os pontos de solda. Procede-se então a execução de alguns pontos de solda em corpos de prova com as mesmas espessuras das chapas que serão soldadas, e através do teste de arrancamento verificar-se o diâmetro do ponto de solda e também o aspecto visual da solda.

Os programas de soldagem devem ser considerados como um guia, a fim de estabelecer um ponto de partida para a soldagem a ponto de aços galvanizados, mas este guia pode ser modificado dependendo da aplicação particular a que se destina.

O tempo de solda deve ser o mais curto possível para evitar um superaquecimento dos eletrodos e conseqüentemente o seu desgaste prematuro (REU, 1997, TECNOWELDING, 2004).

2.5 ELETRODOS DE SOLDA

Os eletrodos são elementos condutores de eletricidade, sendo fabricados de ligas de cobre. Eles desempenham um papel vital na geração de calor, porque conduzem a corrente de soldagem até o material, transferem a pressão necessária para unir as chapas e auxiliam na refrigeração da região de solda. No caso de solda a ponto, a área de contato do eletrodo controla amplamente o diâmetro resultante do ponto de solda e a densidade de corrente de soldagem. Os eletrodos devem ter boa condutibilidade elétrica, mas eles devem também ter resistência mecânica e dureza adequada para resistir à deformação causada por aplicações repetidas e altas solicitações térmicas (INTERMACHINERY, 2003, REU, 1997, RWMA, 2002, SCHARFF, 1990).

2.5.1 Perfil do eletrodo

Segundo (BRANCO, 2004), a forma do eletrodo deve ter um diâmetro que permita a livre circulação de água para refrigeração e principalmente, a face de contato com a chapa não pode ter um formato esférico, pois essas não conseguem a

fusão na zona de solda após a deformação da ponta do eletrodo ocasionada pelo zinco e a diminuição da densidade de corrente.

Um perfil de eletrodo do tipo cone truncado é recomendado, sendo que o ângulo de inclinação do cone deve ser de aproximadamente 30º para um bom desempenho conforme FIGURA 7. (INTERMACHINERY, 2003, RWMA, 2002, TECNOWELDING, 2004).



FIGURA 7 Capa de eletrodo tipo cone truncado

2.6 GERAÇÃO DE CALOR

Segundo (AWS, 1997, CHO, 2003, REU, 1997, SCHARFF, 1990) Citado por (BRANCO, 2004), O calor requerido para o processo de soldagem à resistência é produzido pela resistência do material base à passagem da corrente elétrica, denominado efeito Joule. Devido ao curto caminho da corrente elétrica no material base e ao limitado tempo de soldagem, correntes de soldagem relativamente altas são necessárias para desenvolver o calor de soldagem adequado. A geração de calor no local da solda resulta da ação combinada de três parâmetros; corrente elétrica, resistência Ôhmica da junta a ser soldada e tempo de aplicação da corrente de soldagem; esses três fatores afetam a geração de calor e é expresso pela equação:

$$H = I^2 R t$$

Onde:

- H = Calor gerado em Joules;
- I = Corrente elétrica em Ampéres;
- R = Resistência em ohms;
- t = Tempo de duração da corrente em segundos.

A corrente de soldagem tem um efeito muito maior na geração de calor do que a resistência ou o tempo, devido a sua influência quadrática. Sendo assim, é uma importante variável a ser controlada.

2.7 DESGASTE DOS ELETRODOS

O processo de soldagem à resistência envolve complicadas interações entre as propriedades físicas e metalúrgicas da chapa metálica, revestimento da chapa, materiais do eletrodo e os parâmetros de soldagem. Devido a essas interações, ou seja, exposição do eletrodo a altas temperaturas, altas pressões, faz com que o eletrodo sofra alterações nas suas características originais, formando crateras na face de contato e aumento do diâmetro da face do eletrodo, pois entre 50 e 100 pontos de solda o eletrodo perde dureza, conforme FIGURA 8. A estas mudanças nas características originais do eletrodo chama-se de desgaste do eletrodo (INTERMACHINERY, 2003, JOINING, 1997, REU, 1997).



FIGURA 8 Capa com desgaste e capa nova

Outro problema inerente à soldagem de aços galvanizados com eletrodos de cobre é que, após a soldagem de 50 pontos de solda aproximadamente, ocorre a formação de uma camada de difusão (camada de latão) na face dos eletrodos (REU, 1997).

A solda a ponto consiste em unir metais através da aplicação de pressão e calor, o que favorece a formação de latão. Infelizmente, latão tem uma resistência maior ao fluxo de corrente elétrica do que o cobre dos eletrodos, fazendo com que um calor excessivo seja gerado nessa região, superaquecendo e recozendo o cobre do eletrodo, podendo resultar também na colagem do eletrodo na chapa. Desta forma, o cobre com dureza menor se deforma numa taxa maior, fazendo com que o diâmetro do eletrodo aumente, reduzindo, assim, a densidade de corrente atuante

para formar o ponto de solda. O que se deve fazer é aumentar a corrente para que a mesma densidade seja mantida e o diâmetro do ponto de solda também aumente. Isso provoca mais deformação na face do eletrodo devido ao aumento de calor e este ciclo se segue até que o eletrodo esteja completamente desgastado (INTERMACHINERY, 2003, REU, 1997).

A aplicação de soldagem pulsada pode ser uma das formas para minimizar os problemas de desgaste de eletrodos na soldagem de chapas galvanizadas. A técnica de soldagem pulsada é a aplicação de um pulso de corrente para interromper o fluxo de corrente de soldagem e reaplicá-lo novamente uma ou mais vezes sem a liberação da força de soldagem. O primeiro pulso de corrente de soldagem pode ser selecionado de tal forma a fornecer calor suficiente para fundir o zinco, sem criar uma quantidade excessiva de óxido. Após um curto intervalo de resfriamento, o próximo pulso será suficiente para efetuar um solda satisfatória, aço / aço. O resultado é uma boa solda e uma vida útil de eletrodo mais longa. A expulsão de metal da região da solda pode ser reduzida a zero com a utilização da soldagem pulsada (INTERMACHINERY, 2003, TECNOWELDING, 2004).

Análises térmicas das capas de eletrodos durante o processo de soldagem indicam que a temperatura na face do eletrodo varia entre 700 e 900 °C.

AFIGURA 9, mostra a distribuição de temperatura ao longo da capa de eletrodo, utilizando uma corrente de soldagem de 21 kA e um tempo de soldagem de 165 ms (YEUNG, 1999).

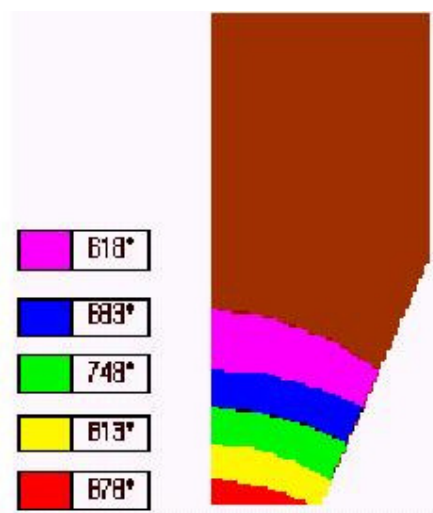


FIGURA 9 Distribuição de temperatura ao longo da capa de eletrodo (YEUNG, WELDING JOURNAL, 1999).

Com o desgaste do eletrodo, a densidade de corrente de soldagem diminui em função do aumento da área da face do eletrodo e com isso começam a ocorrer problemas na qualidade do ponto de solda. Para não deixar que os problemas provenientes do desgaste do eletrodo afetem a qualidade da solda, existem alguns procedimentos que devem ser executados, dentre eles podemos destacar: Trocar o eletrodo, trabalhar com curvas de correntes para compensar o aumento da área e contaminação da face do eletrodo e a fresagem dos eletrodos.

Alguns dos procedimentos utilizados para minimizar os problemas provenientes do desgaste das capas de eletrodos durante a soldagem de chapas galvanizadas são descritos a seguir:

- Troca de eletrodos - A troca de eletrodos é a prática menos utilizada para minimizar o problema do desgaste, pois o eletrodo influencia diretamente no custo de produção e produtividade da linha de soldagem. Quando se realiza a troca dos eletrodos, é necessário que a linha de produção seja parada e, em alguns casos, os eletrodos não foram utilizados até seu limite.
- Curvas de corrente - As curvas de corrente ou estágios de corrente são utilizados nos processos de soldagem a ponto, para determinar o decurso da subida de corrente de soldagem (I_s) como indicado na FIGURA 10. O valor da corrente de soldagem (I_s) aumenta com o aumento do número de pontos de solda. Esse procedimento é adotado para compensar o aumento no diâmetro da face do eletrodo, e conseqüente diminuição da densidade de corrente.

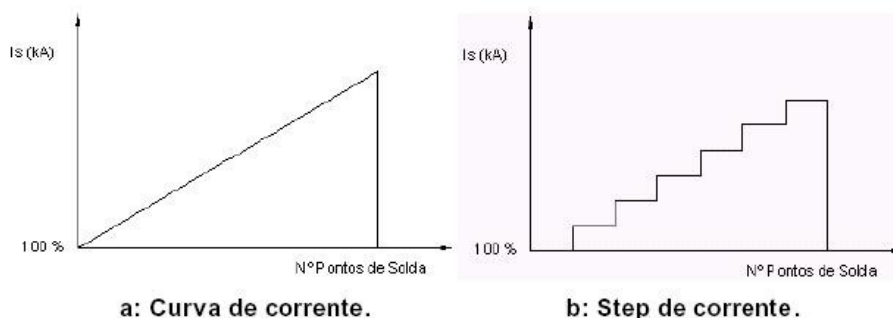


FIGURA 10 Curva e estágios de corrente (MANUAL DE DRESSAGEM ETS, 2000.)

Quando o eletrodo atinge um certo nível de desgaste, somente a aplicação das curvas de corrente não são suficientes para garantir a qualidade dos pontos de

solda, pois os níveis de correntes de soldagem tornam-se muito altos, e o processo de desgaste dos eletrodos começa a acelerar. Pode-se então, combinar as curvas de corrente com fresagem dos eletrodos como indicado na FIGURA 11. Com esta programação preestabelece a quantidade de fresagens do eletrodo até se atingir o seu desgaste máximo. Assim aumenta-se a duração do eletrodo e assegura-se a qualidade dos pontos de solda.

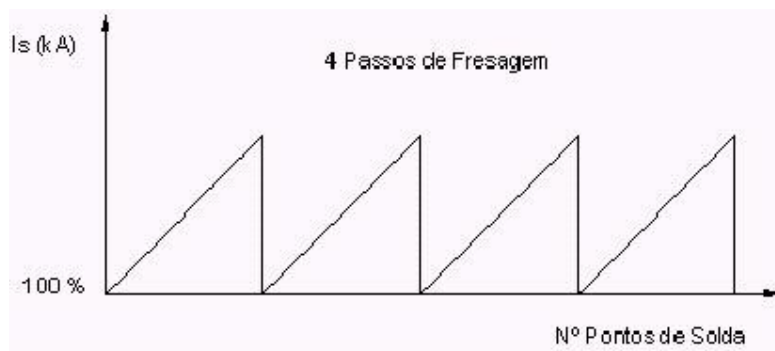


FIGURA 11 Curva de corrente combinada com fresagens (MANUAL DE DRESSAGEM ETS, 2000.)

Segundo o (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000), a fresagem é um processo de usinagem rápido e eficiente utilizado para recuperar o perfil original do eletrodo após alguns pontos de solda. A fresagem dos eletrodos é uma necessidade, provocada basicamente por dois fatores: formação de latão na face de soldagem do eletrodo e aumento da área da face do eletrodo. Para realizar a fresagem dos eletrodos é necessária a utilização de uma ferramenta chamada fresador de eletrodos. Com ele é possível fresar a face do eletrodo conforme FIGURA 12 e com isso manter o perfil original, podendo-se ainda ajustar os parâmetros de soldagem.



FIGURA 12 Capa nova, capa deformada e capa fresada

2.7.1 Processo de fresagem de eletrodos

Para atingir uma qualidade constante do ponto de solda, faz-se necessário a limpeza de todos os eletrodos em intervalos regulares. Isso envolve todos os tipos de máquinas de solda a ponto: Pinças manuais, pinças de robôs e máquinas estacionárias.

Os fresadores são utilizados para fazer a limpeza dos eletrodos de qualquer diâmetro e forma da face. Para serem eficientes, devem limpar os eletrodos entre 3 e 5 segundos, de preferência sem obstrução da produção. Os eletrodos superiores e inferiores devem ser limpos com a máquina na posição fechada, sob uma carga de 0,5 a 1,5 kN, para que no final da soldagem os pontos de solda sejam concêntricos (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

A velocidade na qual o material é removido da ponta do eletrodo durante a limpeza depende de várias variáveis inter-relacionadas:

- Dureza dos eletrodos – que varia com a composição do cobre;
- Tipo de lâmina de corte;
- Velocidade de rotação da fresa;
- Força do eletrodo na fresa durante a limpeza;
- Grau de deformação das pontas – quanto maior a distorção da ponta, mais espessos os cavacos.

2.7.2 Composição dos eletrodos

As ligas de cobre escolhidas para eletrodos são projetadas para fornecer máxima resistência à deformação em elevadas temperaturas. Experiência com ligas de cobre tem estabelecido que quanto mais dura a liga, melhor será a usinagem com formação de cavacos mais finos. A variação na liga não tem efeito significativo no processo de limpeza mas terá importante efeito na frequência de limpeza (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

As características dos materiais de fabricação dos eletrodos classificadas conforme RWMA (Resistance Welding Manufacturing Alliance) são mostradas na Tabela 1

Tabela 1 Tabela 1 Classificação RWMA (INTERMACHINERY, 2002)

CLASSE RWMA	DESCRIÇÃO	CONDUTIVIDADE (I.A.C.S)	DUREZA (HB)	MECANISMO DE ENDURECIMENTO
RWMA 1 (CLASSE 1)	COBRE-ZIRCÔNIO CuZr (0,15%Zr)	90%	70HB	PRECIPTAÇÃO
RWMA 2 (CLASSE 2)	COBRE-CROMO CuCr (1% Cr)	85%	83HB	PRECIPTAÇÃO
RWMA 2 (CLASSE 2)	COBRE-CROMO-ZIRCÔNIO CuCrZr (1% Cr, 0,25 Zr)	85%	83HB	PRECIPTAÇÃO
RWMA 20 (CLASSE 20) AL-60	COBRE RESISTENTE POR DISPERSÃO CuAl203	85%	75HB	DISPERSÃO

Classe 1: É composta de materiais não tratáveis termicamente e endurecidos por trabalho a frio, que não afeta as altas condutibilidades térmica e elétrica;

Classe 2: É composta por materiais com propriedades mecânicas mais altas e condutibilidades elétrica e térmica mais baixas em relação aos eletrodos da Classe 1. As propriedades mecânicas e físicas requeridas são conseguidas por tratamento térmico ou por uma combinação de tratamento térmico e trabalho a frio. Os eletrodos da Classe 2 são os mais utilizados e podem se adequar a uma ampla faixa de metais e condições;

Classe 20: É composta por materiais com capacidade de resistir a altas taxas de calor e pressão quando comparado com os materiais das classes 1 e 2. São fabricados utilizando cobre e material refratário.

Algumas ligas de cobre podem ser produzidas com cobre livre de oxigênio. Estas ligas não apresentam partículas de óxido, são produzidas sem o uso de agentes químicos desoxidantes, não apresentando em sua composição química resíduos de agentes desoxidantes como o fósforo. O cobre livre de oxigênio apresenta melhores condições para os trabalhos de conformação a frio. O cobre sendo isento de oxigênio, e, portanto não suscetível à fragilização pelo hidrogênio, possui resistência mecânica mais elevada em relação às ligas de cobre com oxigênio. A vantagem de se utilizar ligas de cobre livre de oxigênio é que elas apresentam uma condutibilidade elétrica maior que as outras ligas, cerca de 90 a 95% IACS (BRANCO, 2004), (INFOMET - 1998).

2.7.3 Lâmina de corte

A lâmina de corte é o fator isolado mais importante para se conseguir limpeza constante. Variáveis incluem números de arestas de corte (pode ser uma, duas, três ou quatro), ângulo de corte e gume das arestas.

É importante que as fresas forneçam um corte constante por toda a sua vida, e esta deve ser maior que um ano. Para preservar a vida dos eletrodos, o projeto da fresa deve prever uma limitação de pressão bem como a interrupção da corrente de solda. (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

2.7.4 Velocidade de corte

A faixa de velocidade de corte varia de 70 a 1000 rpm. Para ajudar a fragmentar o cavaco, vários modelos de rotação são usados: constante, intermitente e reverso. Idealmente, a fresa deve trabalhar com todas as formas de rotação e ser capaz de limpar em 2 segundos.

Fresas muito pontiagudas que operam em altas velocidades resultam em usinagem excessiva e podem dar uma velocidade variável de corte. Em grande parte, a limpeza controlada é atingida em velocidades de rpm relativamente baixas e combinada com arestas chanfradas (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

2.7.5 Força para fechamento dos eletrodos

Quanto maior a força aplicada ao par de eletrodos nas fresas, maior será a espessura do cavaco, especialmente no início, onde há forte distorção. Melhor

controle de limpeza pode ser conseguido com uma força abaixo de 1,5 kN usando fresas projetadas para essa carga aplicada. A limpeza pode ser efetuada em carga completa de soldagem, contanto que as fresas sejam projetadas para essa carga. O ideal seria se o controle pneumático apropriado estivesse disponível, a força aplicada ao par de eletrodos deveria ser ajustada para produzir cavacos finos que ajudarão na eliminação de uma possível obstrução (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

2.7.6 Controle de deformação

Distorção pesada nas pontas dos eletrodos resulta em cavacos duros nos cortes iniciais com perigos de obstrução. Como a limpeza leve pode ser executada em cerca de 3 a 5 segundos, a prática comum agora é limpar freqüentemente cerca de 250 a 400 soldas antes que a distorção da ponta seja muito grande, controlando dessa forma, a superfície do eletrodo (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

2.7.7 Vantagem de fresar o eletrodo

Em solda a ponto, a fresagem de eletrodos apresenta as seguintes vantagens (REU, 1997, TECNOWELDING, 2004):

- Reduz o desperdício de eletrodos;
- Reduz o tempo de troca dos eletrodos;
- Aumenta a produtividade;
- Os parâmetros de soldagem serão mais constantes (Força, Corrente, Tempo e os parâmetros do circuito de refrigeração);
- Transformadores menores;
- Economia de energia;
- Aumento do número dos pontos de solda, comparado com os pares de eletrodos sem fresagem;
- Redução da parada de máquina para troca de eletrodos;
- Menos consumo de eletrodo.

Existem dois métodos de fresagem dos eletrodos: a fresagem lateral e a fresagem de topo e lateral, ambas são corretas, mas com diferentes influências na soldagem e nos parâmetros de fresagem (TECNOWELDING, 2004).

- Fresagem lateral - O material é removido somente na lateral do eletrodo, restaurando o diâmetro da face do eletrodo, deixando a face de contato contaminada, como indicado na FIGURA 13. Usado principalmente em soldagem de chapas sem revestimento e em alguns casos em chapas zincadas, de maneira a recuperar apenas o diâmetro dos pontos de solda (TECNOWELDING, 2004).

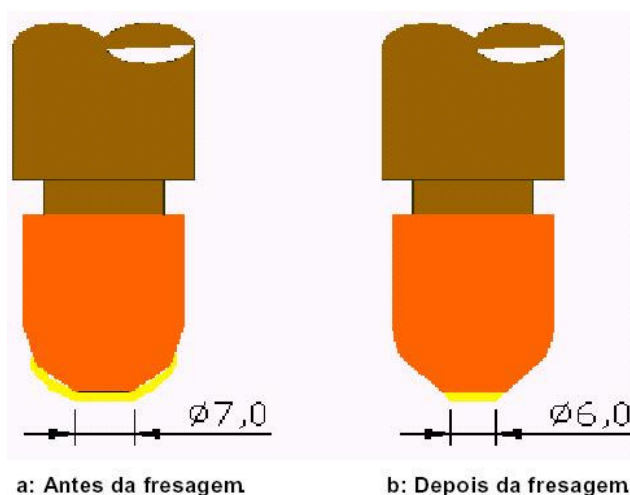
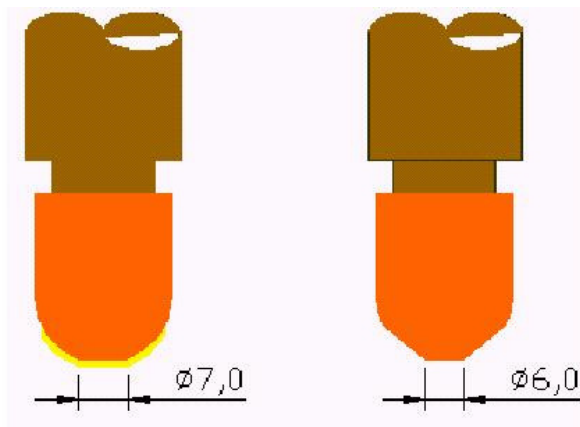


FIGURA 13 Fresagem lateral (TECNOWELDING, 2004.)

- Fresagem de topo e lateral - O material é removido na face e na lateral do eletrodo, restaurando o diâmetro, e limpando a face, a qual fica em contato com a chapa, trazendo de volta o material original do eletrodo, conforme indicado na FIGURA 14. Usado principalmente em chapas de dupla zincagem e chapas de alumínio, para recuperar o diâmetro do ponto de solda e remover a camada de latão (Cu + Zn) que formam durante a soldagem na face do eletrodo. Com este tipo de fresagem o incremento de corrente é ausente ou é reduzido ao mínimo (< 10%) (TECNOWELDING, 2004).



a: Antes da fresagem

b: Depois da fresagem

FIGURA 14 Fresagem de topo e lateral (TECNOWELDING, 2004.)

2.8 MÉTODOS DE FRESAGEM

A fresagem de eletrodos pode ser de três tipos: fresagem manual, fresagem automática e fresagem off-line.

2.8.1 Fresagem manual

Na fresagem manual, o fresador pode ser mecânico, pneumático ou elétrico. Este tipo de fresagem melhorará o ciclo de soldagem, porém haverá perda de produtividade, pois a linha de produção estará parada. A fresagem manual pode ser feita depois de cada ciclo de soldagem ou em intervalos programados, dependendo do desgaste dos eletrodos. A fresagem leva aproximadamente 3 a 5 segundos. A FIGURA 15 mostra uma forma de fresagem manual (TECNOWELDING, 2004).

**FIGURA 15** Fresagem manual (TECNOWELDING, 2004.)

2.8.2 Fresagem automática

Em uma fresagem automática, o fresador é montado na linha onde ele pode ser acessado pelo robô de solda como mostrado na FIGURA 16 Fresagem Automática. O robô é programado para fresar (sem parar a linha) no intervalo de soldagem das peças, mantendo a linha em movimento, maximizando a eficiência e os custos são minimizados porque os eletrodos mantêm uma geometria apropriada para soldas eficientes.

A fresagem pode ser feita depois de cada ciclo de trabalho, depois do segundo ciclo de trabalho, etc. Isso depende de como os pontos de solda são feitos em cada ciclo. A fresagem leva aproximadamente 1 a 2 segundos, e é executada enquanto a peça de trabalho está sendo carregada, descarregada ou transportada. Manutenções apropriadas na geometria do eletrodo minimizam perdas de tempo na produção, otimizam custos e aumenta a eficiência das soldas (TECNOWELDING, 2004).



FIGURA 16 Fresagem automática (TECNOWELDING, 2004.)

2.8.3 Fresagem off-line

A fresagem off-line é outra forma de recuperar a forma original da face do eletrodo após a soldagem. A fresagem off-line pode ser realizada em um dispositivo desenvolvido especialmente para este fim, chamado fresador “off-line” mostrado na

FIGURA 17, ou pode ser realizada em um torno. A fresagem “off-line” é utilizada para reduzir os custos com os eletrodos, porém há perda de produtividade na linha, uma vez que há a necessidade de parar a máquina de soldagem para realizar a troca dos eletrodos (TECNOWELDING, 2004).

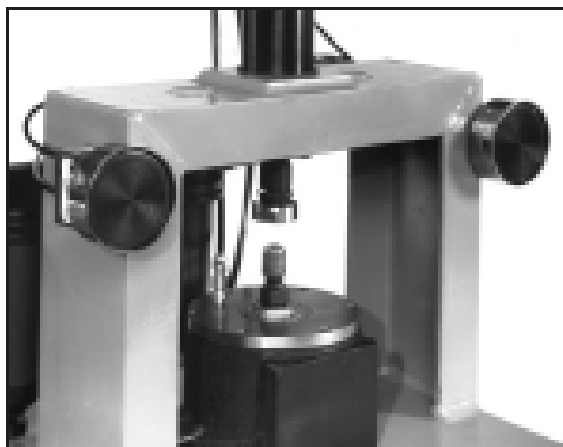


FIGURA 17 Fresagem Off-line (TECNOWELDING, 2004.)

Para um ótimo desempenho, tanto o eletrodo superior quanto o inferior devem ser limpos na posição fechada sob carga para que os pontos de solda sejam concêntricos. Onde for necessário, o eletrodo superior e inferior podem ter perfis diferentes (MANUAL DE FRESAGEM ETS, 2000).

Melhores resultados são conseguidos com uma redução na força de fresagem (de 0,5 kN a 1,5 kN), isso resultará em um corte mais leve que prolongará a vida útil do eletrodo, reduz as chances de obstrução da produção e impõe menos deformação nos braços das ponteadeiras de solda.

Caso não haja provisão para reduzir a força de soldagem, então a limpeza poderá ser feita com carga completa de soldagem de eletrodo, porém, o equipamento a ser utilizado deverá ter suas características construtivas aumentadas.

Em linhas de robôs, a preocupação é necessária para evitar que as fresas obstruam a produção com os cavacos retirados dos eletrodos, o que pode resultar em uma limpeza imperfeita. A fresa pode incorporar pedaços de cavacos e a rotação dos fressadores pode variar para fragmentar tais cavacos. Alta pressão de ar também pode ser usada para soprar o cavaco, contanto que isso não entre nas estruturas da fresadora (INTERMACHINERY, 2002).

2.8.4 Intervalos de fresagem

Segundo (BRANCO, 2004), o intervalo dos ciclos de fresagens é difícil de ser definido porque está ligado a alguns fatores: Material utilizado, tipo de revestimento, espessura do material, grau de limpeza da chapa, tipo de eletrodo, etc.

Tabela 2 Quantidade de pontos

Tipo de Material		
Não Zincada	Duas Faces Zincadas	Alumínio
200 a 800 pontos	50 a 400 pontos	15 a 75 pontos

Apesar da Tabela 2 acima fazer uma referência na quantidade de pontos, esses valores são apenas orientativos e não devem ser tomados como regra, pois, para se determinar a quantidade de pontos deve-se encontrar a melhor relação entre deformação e dificuldade de limpeza, conforme abordado no capítulo 2.4.7 anteriormente.

3 DESCRIÇÃO DO PROJETO

3.1 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Antes de descrever o processo é importante ressaltar que este equipamento já existe, porém somente para pinças automáticas utilizadas em robôs, este trabalho mostra apenas a implementação de uma automatização de um equipamento similar para pinças manuais.

O equipamento proposto é um conjunto fresador (fresa para diâmetro 5,8mm) acionado por um motor elétrico fixado em um pedestal próximo ao local de trabalho do operador de solda, esse conjunto contém ainda um painel elétrico e um pedal de acionamento, esse equipamento deve se comunicar com o painel de solda da pinça através de cabos elétricos, por isso deve contemplar também conduítes e calhas elétricas conforme FIGURA 18.

Esse conjunto fresador deve conter guias para garantir a posição dos eletrodos durante a fresagem e sensor para identificar a presença do eletrodo na posição, evitando um acionamento involuntário.

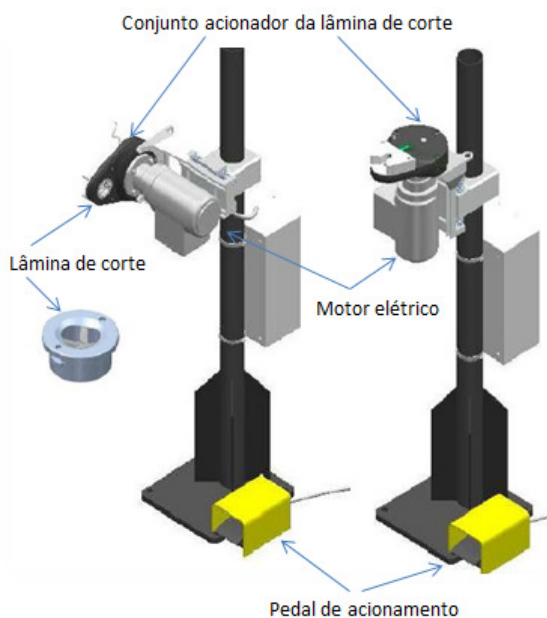


FIGURA 18 Fresadora para pinças manuais (SINTERLEGHE, 2012)

3.2 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO

O operador deverá acoplar as novas capas nas hastes e fazer uma primeira fresagem para garantir a geometria das capas.

A fresagem deverá ser executada quando solicitada pelo painel de controle da pinça (lâmpada vermelha piscando), conforme FIGURA 19, isso ocorre quando o número de pontos de solda atingir o valor programado para o intervalo de fresagem.

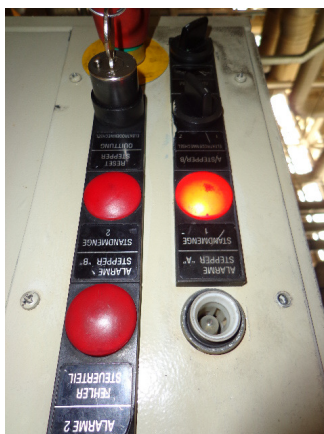


FIGURA 19 Lâmpada do painel de solda

Quando houver a referida solicitação de fresagem, o operador deverá posicionar a chave de controle de solda do painel de controle para a posição “OFF” e logo após deverá posicionar a haste fixa da pinça na guia da fresadora, conforme FIGURA 20.



FIGURA 20 Posicionamento da haste

Quando a haste estiver posicionada, o pedal de acionamento do motor deverá ser acionado juntamente com o gatilho de fechamento do braço móvel da pinça, FIGURA 21.



FIGURA 21 Acionamento do pedal

Nesse momento a fresagem é iniciada e o equipamento começa a contagem de tempo e do número de voltas da fresa, quando o tempo e a quantidade de voltas alcançarem o valor programado a pinça abrirá automaticamente o braço móvel e o giro do motor será interrompido.

Quando a fresagem terminar, o operador deverá posicionar a chave de controle de solda do painel de controle para a posição “ON” e poderá continuar com trabalho até a próxima solicitação.

Esse procedimento será repetido até atingir o valor de intervalos programado, quando esse valor for atingido a lâmpada permanecerá acesa indicando que é necessário a troca da capa de eletrodo.

Nesse momento as capas de eletrodos deverão ser trocadas e o contador deverá ser resetado através de uma chave no painel de controle da pinça.

3.3 DESCRIÇÃO DA FRESAGEM

Antes de iniciar o giro da fresa, o equipamento deverá identificar as hastes na posição através do sensor e cortar a corrente de solda.

Quando a fresagem for iniciada, o equipamento deverá reduzir a força de fechamento dos eletrodos para os valores entre 09 e 1,5KN conforme descrito no capítulo 2.4.6.

O tempo de giro da fresa deverá ser programado ao menor valor possível para conseguir uma superfície limpa e uniforme sem retirar muito material da capa de eletrodo, o diâmetro da fresa é de 5,8mm para um diâmetro do ponto de solda mínimo de 5mm.

3.4 BENEFÍCIOS

- Redução dos custos;
- Maximização do tempo de operação contínua do sistema;
- Facilidade de operação do equipamento.

3.5 ANÁLISE DE NECESSIDADES:

Para o levantamento das necessidades foi necessário uma reunião com o pessoal da produção, manutenção e processo.

3.5.1 Produção:

A produção solicitou um equipamento de fácil acesso, que interrompa o processo de solda e avise o operador da necessidade fresagem ou troca das capas de eletrodos.

Para a solicitação de fresagem, o equipamento já possui um sistema de indicação com lâmpada, foi solicitado manter o sistema atual para não gerar confusão e que fosse apenas incluído mais uma configuração para a mesma, ou seja;

Solicitação de troca de capa (lâmpada acesa);

Solicitação de fresagem de capa (lâmpada piscando).

3.5.2 Eng. de processo:

O pessoal de processo solicitou um posicionamento do equipamento de maneira a não criar interferência com as peças e equipamentos já existentes e que o processo de fresagem não altere o tempo de ciclo da estação.

3.5.3 Manutenção:

A manutenção levantou a necessidade de robustez para o equipamento e que a comunicação entre o controlador de solda seja de maneira confiável e de fácil interpretação.

3.5.4 Implementação da fresadora

Após a análise das necessidades levantadas, foi iniciado o desenvolvimento do equipamento para atender as necessidades conforme capítulo 3.5 descrito anteriormente.

Em contato com alguns fabricantes, estes disponibilizaram alguns tipos de fresadores manuais.

Esse tipo de fresadora apresentou alguns problemas, sobretudo se fossem utilizados em um processo de produção de larga escala como é o caso do objeto de estudo.

Primeiramente os fresadores manuais não se mostraram eficientes e tiveram muita dificuldade de operação, (interferência com os braços da pinça).

O motivo maior que inviabilizou a utilização deste equipamento foi o fato de serem necessárias duas pessoas para executar a fresagem, um operador que deve segurar a fresa na posição correta e outro deve operar a pinça e fazer o fechamento dos braços, em termos de segurança, essa operação é expressamente proibida, pois há risco muito grande de ocorrer um acidente de trabalho.

Desta forma ficou definido que o equipamento deveria ser fixo, semiautomático e prever as possíveis condições inseguras.

3.5.5 Protótipo

Inicialmente as guias tinham uma espessura grande para garantir a posição das hastes, estas não podem se movimentar e devem ficar perpendicularmente em relação a fresa, FIGURA 22.

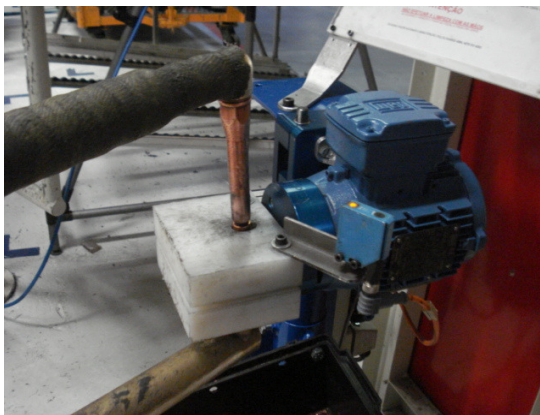


FIGURA 22 Primeira fresadora semiautomática

As primeiras fresas que foram testadas foram as de 1 e 2 lâminas, porém não apresentaram um bom rendimento e algumas não resistiram e acabaram quebradas.

A fresa que apresentou o melhor resultado foi a de 3 lâminas com um ângulo adequado e diâmetro de 5,8mm para se conseguir um ponto de solda de 5mm que é acima do especificado na norma no cap 4.6.

Com essa fresa conseguiu-se uma limpeza adequada com uma retirada mínima de material. FIGURA 23

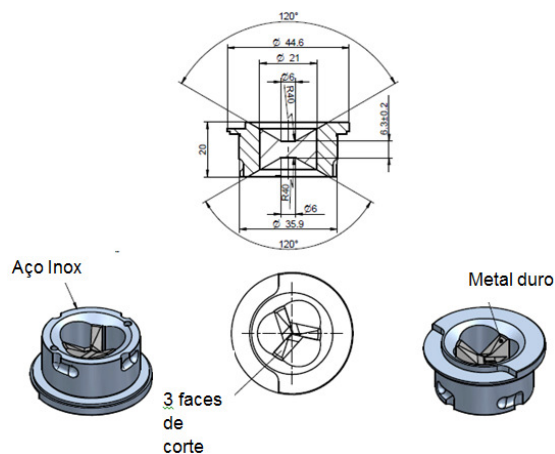


FIGURA 23 Fresa com 3 lâminas (SINTERLEGHE, 2011)

Após os testes com as fresadoras e definição do tipo de lâmina, chegou-se a fresadora semiautomática conforme FIGURA 24.

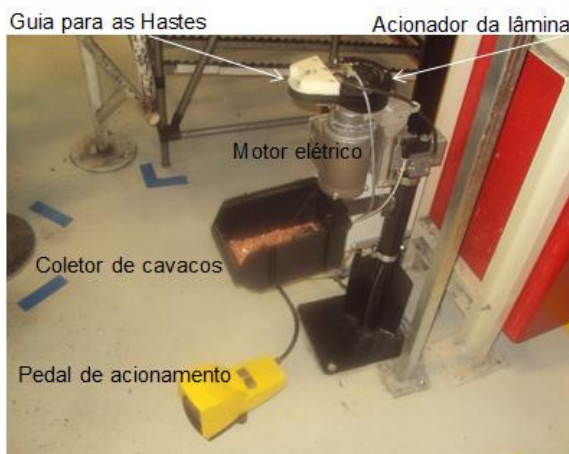


FIGURA 24 Fresadora semiautomática (SINTERLEGHE, 2011)

3.5.6 Configuração da fresadora

Por motivos de segurança, a fresa só poderá iniciar o movimento de giro quando forem atendidas as condições abaixo;

Solicitação de fresagem pelo programa pode ser automático ou em manual com a chave de liberação de manutenção;

Chave de corte de corrente na posição “desligado”;

Sensor de detecção de haste na posição correta acionado;

Sensor do pedal de segurança acionado.

A falta de qualquer uma das condições acima citadas inibe o acionamento da fresa.

3.5.7 Descrição do procedimento de soldagem das peças.

Na estação de trabalho em estudo, o processo de solda ponto manual é executado através dos equipamentos já mencionados anteriormente, onde o operador tem um tempo de tacto pré-determinado pela engenharia industrial de 65 segundos. Um ciclo completo para soldar um conjunto, ocorre através da montagem das peças no dispositivo, seguindo uma sequência ordenada na disposição das peças. Após todas as peças colocadas no dispositivo de fixação para a soldagem das peças é acionado o dispositivo de acionamento para fechar a estação de trabalho.

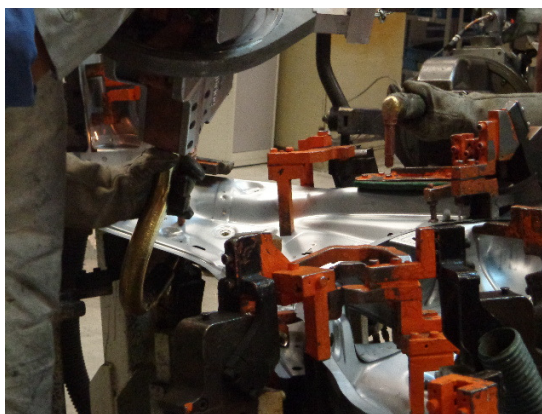


FIGURA 25 Dispositivo

Desta forma o dispositivo de fixação das peças estará pronto para o operador iniciar a solda, seguindo o plano de pontos que determina o local exato de onde deve ser executado na peça. Após a peça estar soldada é retirada do dispositivo e enviada para a próxima operação, conforme FIGURA 25 Dispositivo.

Este ciclo pode ser repetido com as mesmas capas de eletrodo até 39 vezes, pois efetua 21 pontos de solda por peça, somando um total de 819 pontos de vida útil do par de capas do eletrodo. Quando atinge o número máximo de pontos, ocorre

a substituição por outras capas e as usadas são descartadas. O processo é zerado através de um reset no módulo controlador. O reinício da atividade “set up” do processo, ocorre após o módulo controlador zerar a contagem de pontos de solda.

O processo de substituição das capas consiste quando atingir o número previsto de pontos de solda por cada capa do eletrodo, o painel de comando interrompe o processo, disparando uma luz sinalizadora do final da vida útil. O operador deve fazer o “set up” da máquina deslocando-se até o módulo de comando e efetuando o desligamento da água de refrigeração e do ar comprimido, em seguida deve dirigir-se até um local da estação de trabalho coletar capas novas e a chave de troca de eletrodos, voltar até a pinça de solda e efetuar a troca, FIGURA 26.

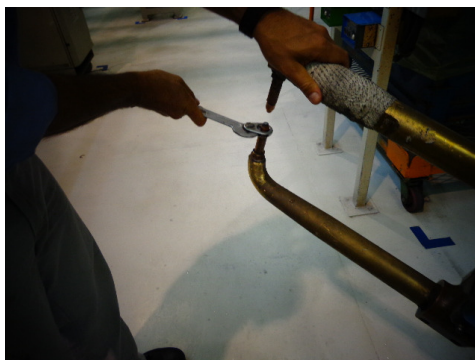


FIGURA 26 Troca de capa de eletrodo

Após completar a troca, devolver a chave de troca do eletrodo no mesmo local da estação que foi retirada e descartar as capas do eletrodo usadas, voltar até o painel de comando e executar o “reset” do módulo controlador com uma chave denominada E7 (chave específica de “reset”) e abrir os registros de água e ar para a alimentação do alicate de solda manual. Este “set up” leva em média 54 segundos, FIGURA 27.



FIGURA 27 Capas trocadas

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica em livros, manuais, internet e normas técnicas.

A pesquisa é aplicada e de campo. O autor é funcionário do setor de manutenção, que é responsável não somente em manter os equipamentos funcionando, como também de sugerir inovações, desenvolver e implementar idéias que visam melhorar o processo produtivo e diminuir custos, logo a pesquisa usará da observação participante.

Os testes de verificação dos pontos de solda após a instalação da fresadora foram efetuados com corpos de prova, teste de arrancamento para verificação do diâmetro e amostra das capas de solda para medição da dureza ao longo dos intervalos de fresagem.

Cada intervalo de fresagem contém 420 pontos seguindo a tabela orientativa 2 capítulo 2.8.4 e baseando-se na distorção das capas, pois, em termos de produção a melhor condição é a de menor interferência no processo, ou seja, quanto mais pontos em cada intervalo menos paradas para fresagem, porém em termos de qualidade dos pontos, retirada de material pela fresa e vida útil das lâminas de fresagem, quanto menor a distorção das capas, melhor serão os resultados.

Desta forma foram soldados 420 pontos e feito a verificação quanto formação de crateras e a distorção.

Com 420 pontos, as capas apresentaram crateras, porém a deformação na ponta ficou abaixo de 1 mm no diâmetro.

Sendo assim, o primeiro corpo de prova tem um ponto feito com uma capa nova, fresada e com zero pontos de solda, o outro ponto do mesmo corpo de prova, foi executado com uma capa após executar 420 pontos.

O segundo corpo de prova contém um ponto feito com uma capa após executar 420, e outro ponto após executar 840 pontos. Dessa forma foram feitos os dez corpos de prova.

Para a medição de dureza das capas, foram utilizadas as amostras de capas após a execução dos intervalos de 420 pontos, ou seja, cada capa contém um acréscimo de 420 pontos de solda e 0,3mm de material a menos que a anterior.

4.1 CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova de 50mm x 250mm x 0,7mm foram feitos com chapas de aço galvanizadas com a mesma especificação e espessura das peças utilizadas na produção na estação de trabalho em que foram feito os testes.

A verificação da distância entre pontos e distância das bordas, foi feita pela fórmula $L = (14 \times s2 + 3) \times (s1 + s2)^{1/3}$ (mm), onde “L” é a distância entre pontos de solda e “s” é a espessura da chapa. A distância mínima que os pontos de solda devem ficar da borda da peça, para espessuras iguais ou diferentes ($s1 > s2$), é dado pela expressão: $B = [13 \times (s2)^{1/2} \times (s1 / s2)^{1/3}] / 2$. (MACHADO, 1996).

Para os corpos de prova em questão, a distância entre pontos (L) calculada foi de 60mm.

Comprimento do corpo de prova= 250mm;

Largura=50mm;

Espessura = 0,7mm;

Distância mínima entre pontos calculada= 60mm;

Distância mínima das bordas calculada=5,4mm;

As chapas foram sobrepostas para execução dos pontos de solda.

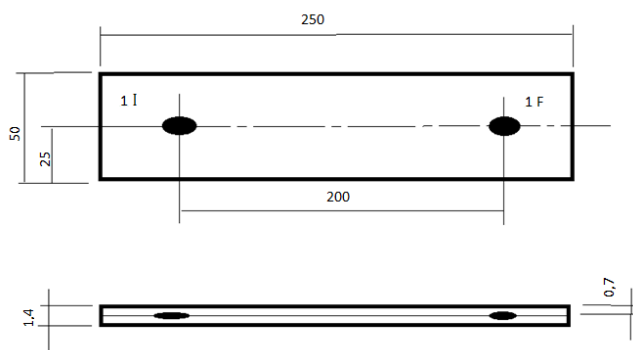


FIGURA 28 Corpo de prova

Para a verificação dos pontos de solda, foi definido dois pontos em cada corpo de prova, dessa forma foi possível obter um ponto de solda no início (1I) e outro no final (1F) de cada intervalo de fresagem, conforme FIGURA 28 e FIGURA 29, dessa forma foram utilizados 10 corpos de prova e foram feitos 20 pontos para a execução dos testes de arrancamento e medição dos diâmetros dos pontos de solda.



FIGURA 29 Corpo de prova inicial

4.2 EQUIPAMENTOS

Pinça de solda Manual Tipo C150 marca Daring;

Controlador de solda para pinças manuais Bosch 5010 versão V1, 31;

Fresadora de eletrodos de pinças manuais modelo E2Z com lâmina de três cortes guia e coletor de cavacos.

Dinamômetro KS-1000 (escala 0-10KN);

Amperímetro MIYACHI MM315A (120VAC 60/60HZ)

4.3 DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Processo de solda a ponto manual: As peças são colocadas na estação geométrica de trabalho, e após a fixação no dispositivo por grampos pneumáticos, estas peças são unidas através de pontos de soldas executados pela máquina de solda a ponto manual FIGURA 30.

Para garantir o mesmo posicionamento dos corpos de prova, foi definido e marcado um local no próprio dispositivo de fixação das peças produtivas.



FIGURA 30 Dispositivo de fixação

4.4 CALIBRAÇÃO

A calibração da pinça manual foi feita em duas etapas, calibração de pressão e calibração de corrente.

4.4.1 Calibração de pressão

O controlador de solda Bosch disponibiliza dentro do programa uma tela que é utilizada para execução do escalonamento de pressão (FIGURA 31), esse escalonamento consiste em fazer o fechamento da pinça com uma pressão regulada e medir com um dinamômetro a força de fechamento conforme a FIGURA 32.



FIGURA 31 Tela de escalonamento de força

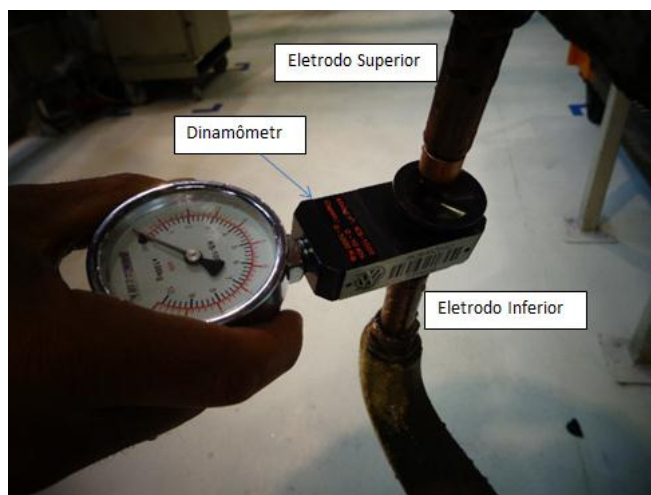


FIGURA 32 Dinamômetro

O valor da força medido no dinamômetro e o valor de pressão ajustado no manômetro devem ser inseridos no software que através de cálculos irá ajustar o programa.

4.4.2 Calibração de Corrente

A calibração de corrente consiste em medir a corrente real que passa pelos eletrodos, essa medição é feita com um amperímetro instalado previamente entre os braços da pinça conforme FIGURA 33.



FIGURA 33 Amperímetro

O valor de corrente é inserido no software e repetido 3 vezes. Após a repetição do procedimento o programa executa os devidos cálculos para calibrar a corrente.



FIGURA 34 Tela de escalonamento de corrente

Após a calibração feita conforme acima descrito, foi executado uma conferência da corrente selecionando um valor de corrente, efetuando um disparo e medindo com o amperímetro, o valor medido ficou igual ao selecionado no programa.

4.4.3 Verificação da refrigeração das capas.

Uma refrigeração adequada geralmente deve ficar entre 4 e 6 litros por minuto, conforme citado no capítulo 2,3 visto anteriormente.

Para a verificação da refrigeração, foi instalado um medidor de vazão de água em série na linha de refrigeração da pinça de solda e efetuado a medição, o resultado foi de 6,5 litros por minuto conforme FIGURA 35.



Valor inicial	8,04m³
Valor final	8,05m³
Tempo	1,53
Vazão	6,5L/min

FIGURA 35 Medição de vazão de água

Volume 0,01m³

Tempo 153s = 1,53min

Vazão $0,01 \times 1000 / 1,53 = 6,5$ Litros por minuto

4.5 MATERIAIS

4.5.1 Material das capas de eletrodos

Cobre-Zircônio CuZr classificação RWMA1 livre de oxigênio com um índice de condutividade elétrica (I.A.C.S) de 90%.

A vantagem de se utilizar ligas de cobre livre de oxigênio é que elas apresentam uma resistências mecânicas superior a das outras ligas como visto anteriormente no capítulo 2.4.4 .

4.5.2 Material da chapa soldada

A chapa tem a especificação St06 G 10/10 (Normas DIN EN 10413; VW50111 e ST06Z100MB) com espessura da chapa de 0,7 mm e revestimento de Zn de 6 a 12 µm, processo de revestimento por imersão.

4.6 PARAMETRIZAÇÃO

Para o diâmetro do ponto lentiforme vale o diâmetro da zona alcançada na superfície de separação (vertical à superfície de união) das peças trabalhadas que, no processo de soldagem, esteve liquefeito e sua estrutura cristalina distinguiu-se do material base. (VW 01105, 1998).

A FIGURA 36 contém a menor medida admissível para d_L , em função da espessura da chapa. Contém também a medida do ponto de solda d_{pmin} , que é dado pela fórmula $d_{pmin} = 1,15 \times d_{Lmin}$.

Para a espessura de chapa de 0,7mm o diâmetro mínimo do ponto de solda é de 3,3mm.

Emenda paralela e sobreposta			St 12, 13, 14
Espessura mínima de chapa ¹⁾	Diâmetro do ponto lentiforme	Diâmetro do ponto	Força mín. de tração de corte
t_1	$d_{Lmin} \geq 3,5 \sqrt{t_1}$	$d_{pmin} = 1,15 \times d_{Lmin}$	$F_{mín.}$
em mm	em mm	em mm	em kN
0,5	2,5	2,9	1,2
0,6 ^{*)}	2,7	3,1	1,5
0,7	2,9	3,3	1,9
0,8	3,1	3,6	2,3
0,9 ^{*)}	3,3	3,8	2,7
1,0	3,5	4,0	3,2
1,25 ^{*)}	3,9	4,5	4,2
1,5	4,3	4,9	5,1
1,75 ^{*)}	4,6	5,3	6,1
2,0	5,0	5,7	7,2
2,25 ^{*)}	5,3	6,0	8,3
2,5	5,5	6,4	10,6
2,75 ^{*)}	5,8	6,7	11,5
3,0	6,1	7,0	12,4
3,5	6,5	7,5	15,0
4,0	7,0	8,0	18,5

¹⁾ Para espessuras diferentes de chapas, a chapa mais fina t_1 é normalizada para a determinação do diâmetro do ponto lentiforme e ponto. Para as espessuras de chapas caracterizadas com ^{*)}, os valores $F_{mín.}$ serão extrapolados.

FIGURA 36 Diâmetro do ponto de solda (VW 01105, 1998)

4.7 MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DOS PONTOS DE SOLDA

A integridade do ponto de solda foi medida através do teste de arrancamento, como mostrado na FIGURA 37a. O teste de arrancamento foi realizado em corpos de prova como mostrado na FIGURA 36b. O diâmetro médio do ponto de solda foi

determinado conforme o capítulo 4.6 e a forma de medi-lo é mostrado nas FIGURA 36c, FIGURA 36d, FIGURA 36e e FIGURA 36f, (BRANCO, 2004, DONG, 1995, JOINING, 1997, INTERMACHINERY, 2003, REU, 1997).

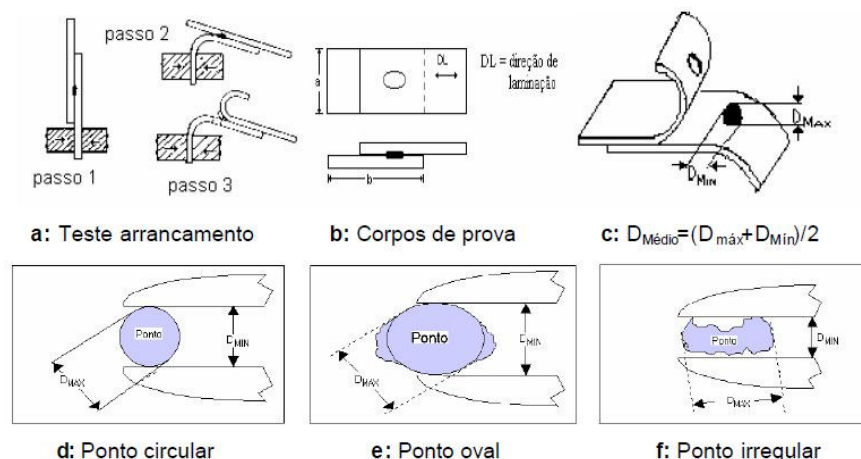


FIGURA 37 Medição do diâmetro dos pontos de solda (REU, 1997)

4.7.1 Parâmetros antes da instalação da fresadora

Corrente de solda inicial = 8KA;

Tempo de solda; 250ms;

Força dos eletrodos; 2,3 KN

Tempo de pré-pressão = 200ms;

Rampa de acréscimo de corrente = 15%;

Corrente de solda final = 9,2KA

Desgaste máximo = 819 pontos;

Para garantir a qualidade das peças, é necessário fazer um ensaio destrutivo no início de cada turno e durante a produção são realizados testes de ultrassom, caso seja verificado alguma alteração na qualidade dos pontos, a manutenção é acionada e dependendo da gravidade do problema, é necessário fazer um rastreamento das peças com possível problema.

Quantidade de pontos de solda por Pç = 21;

Quantidade de pontos por capa = 819;

Quantidade de pçs por par de capas = 39;

Quantidade de par de capas para uma produção de 600 peças por turno = 15,3 pares.

4.7.2 Parametrização após a instalação da fresadora

Para a implementação das fresadoras, foram tomados como base os parâmetros dos programas já existentes, pois não havia disponibilidade de equipamento para refazer a programação como sugere o manual (TECNOWELDING, 2004) capítulo 2.3 e também teria um custo maior visto que haveria necessidade de executar testes destrutivos em várias peças.

Como as soldas são testadas com teste de arrancamento diariamente, aprovadas por ensaio de ultrassom e não são permitidos defeitos superficiais tais como ponto deslocado, indentação, queima da superfície da chapa, fusão da superfície e grudamento das capas de eletrodos na superfície da chapa, esse procedimento não interferiu no processo de implementação das fresadoras, pois todos os pontos devem estar livres dos defeitos acima.

Corrente de solda inicial = 8KA;

Tempo de solda; 250ms;

Força dos eletrodos; 2,3 KN;

Rampa de acréscimo de corrente = 10%;

Quantidade de pontos de solda por Pç = 21;

Quantidade mínima de fresagens = 10;

Quantidade de pontos por intervalo = 420;

Quantidade de pontos por par de capas = 4200;

Quantidade de par de capas para uma produção de 600 peças por turno = 3 pares.

4.8 INTERVALO DE FRESAGEM

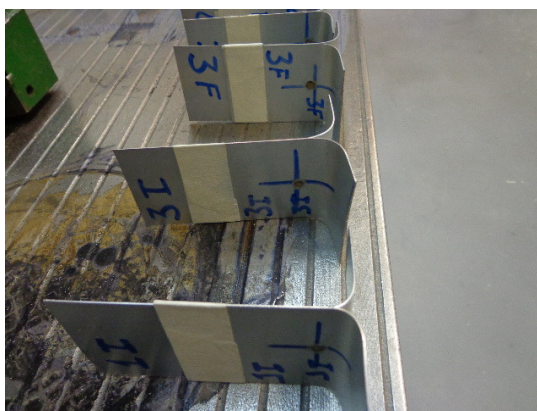
Como foram definidos 10 intervalos mínimos e 10 corpos de prova, cada intervalo de fresagem tem 420 pontos, sendo assim cada corpo de prova possui 2 pontos, porém com quantidades de pontos de solda diferentes, conforme Tabela 3 onde “i” indica o início do intervalo, “F” indica o final do intervalo e os números são os respectivos intervalos.

Tabela 3 Intervalos x QTDE de pontos de solda

Intervalo	1i	1F	2i	2F	3i	3F	4i	4F	5i	5F
QTDE PTS	0	420	420	840	840	1260	1260	1680	1680	2100
Intervalo	6i	6F	7i	7F	8i	8F	9i	9F	10i	10F
QTDE PTS	2100	2520	2520	2940	2940	3360	3360	3780	3780	4200

4.9 TESTE DOS CORPOS DE PROVA

Após concluído os pontos de solda nos corpos de prova devidamente identificados, eles foram cortados e dobrados para a execução do teste de arrancamento conforme FIGURA 38.

**FIGURA 38 Corpo de prova dobrado**

Os testes de arrancamento foram executados em um equipamento de ensaio de tração, porém foram apenas tracionados sem leitura e registro dos valores conforme FIGURA 39 e FIGURA 40.

**FIGURA 39 Corpo de prova posicionado**



FIGURA 40 Teste de arrancamento

Após efetuados todos os testes de arrancamento FIGURA 40, foram feitas as medições, sempre em dois sentidos para se obter o diâmetro médio do ponto de solda, conforme FIGURA 41.

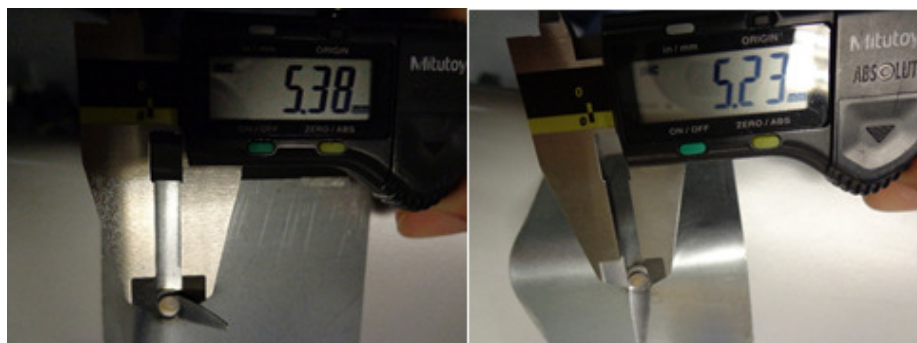


FIGURA 41 Medição do ponto de solda

4.10 MEDIÇÃO DE DUREZA DAS CAPAS

Para a medição da dureza das capas de eletrodo, foram utilizadas as amostras em cada intervalo, como foi determinado dez intervalos, foi necessário retirar dez pares de capas para os testes conforme Tabela 4 abaixo, cada par de capas contém um número de pontos de solda e altura “H” diferente.

As medições foram feitas em um equipamento da marca ISTRON WOLPERT modelo testor 971, Dureza Brinell, com uma esfera de diâmetro 2,5mm e uma caraga 62,5 Kgf. FIGURA 42.



FIGURA 42 Durômetro

Tabela 4 Medida "H" x QTDE de pontos nos respectivos intervalos de fresagem

INTERVALO	CAPA NOVA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
QTDE DE PONTOS	0	420	840	1260	1680	2100	2520	2940	3360	3780	4200
ALTURA "H"	21,2	21,2	20,8	20,5	20,2	19,8	19,4	19	18,5	18,2	18

Em cada capa foram realizadas duas medições, uma no centro e outra deslocada em 3mm para a periferia da capa, FIGURA 43.

A medida "H" é a distância da base da capa até a ponta da mesma conforme FIGURA 43,

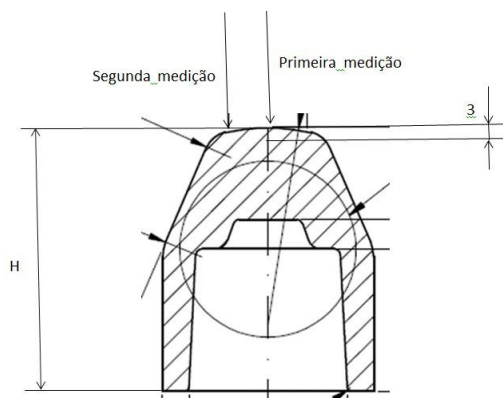


FIGURA 43 Altura H da capa

Em cada fresagem foi retirado em média 0,3mm de material e como foram realizadas dez fresagens, houve uma variação de 3mm desde o início da capa até o ultimo intervalo

As fresagens foram do tipo topo e lateral conforme visto no capítulo 2.7.7 anteriormente.

A força dos eletrodos durante as fresagens foi de 0,9 KN.

5 RESULTADOS

5.1 DIÂMETRO DOS PONTOS DE SOLDA.

Cada corpo de prova contém dois pontos, o primeiro referente ao início de cada intervalo e o segundo ponto é referente ao último ponto do mesmo intervalo, desta forma foi possível construir a tabela abaixo.

Tabela 5 Resultados dos diâmetros x QTDE de pontos

QTDE DE FRESAGENS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
QTDE DE PONTOS	420	840	1260	1680	2100	2520	2940	3360	3780	4200
DIÂMETRO MÉDIO DA CAPA INICIAL (mm)	5,3	5,4	5,4	5,6	5,5	5,5	5,4	5,6	5,7	5,8
DIÂMETRO MÉDIO DO PONTO INICIAL (mm)	5,1	5,3	5,4	5,3	4,8	4,6	5,3	5,1	5,1	5,1
DIÂMETRO MÉDIO DA CAPA FINAL (mm)	5,9	5,8	5,95	6	5,8	5,85	5,9	6	5,9	6,1
DIÂMETRO MÉDIO DO PONTO FINAL (mm)	5,5	5,5	5,6	5,7	5,8	5,45	5,7	5,8	5,7	5,9

A Tabela 5 mostra os diâmetros das capas e dos pontos de solda ao longo dos intervalos de fresagens, pode-se perceber que o diâmetro das capas no final de cada intervalo, não sofreram muita alteração desde o início até o final das fresagens e também entre os intervalos, este efeito era o esperado, pois o material das capas utilizadas é cobre livre de oxigênio e com a quantidade de fresagens implementadas, a distorção das capas fica abaixo de 1mm no diâmetro, porém, as capas já apresentaram alguma formação de crateras que foi determinante para restringir a quantidade de 420 pontos apenas, ou seja, o objetivo é fresar o quanto antes as capas para que tenham um bom acabamento e também seja preservada a lâmina da fresa.

Nesta tabela pode-se observar também um aumento no diâmetro dos pontos de solda finais de cada intervalo, na realidade esperava-se que os pontos não aumentassem e mantivessem a dimensão, pois a distorção das capas de eletrodo não foram acentuadas, esse aumento foi devido à compensação de corrente que foi de 10%, isso mostra que existe campo para uma otimização dos programas e diminuir essa porcentagem, porém, para isso é necessário um tempo maior para a realização dos testes até se chegar em um parâmetro ótimo.

5.2 ANÁLISE VISUAL

Nas FIGURA 44 e FIGURA 45 são apresentados os resultados dos pontos de solda ao longo dos 10 intervalos;

Foto 1 = Impressão do ponto de solda na chapa no início de cada intervalo;

Foto 2 = Impressão do ponto de solda na chapa final de cada intervalo;

Foto 3 = capa de eletrodo de solda no final de cada intervalo;

Foto 4 = Ponto de solda final após teste de arrancamento

Em cada linha podem ser observadas as fotos dos respectivos intervalos.

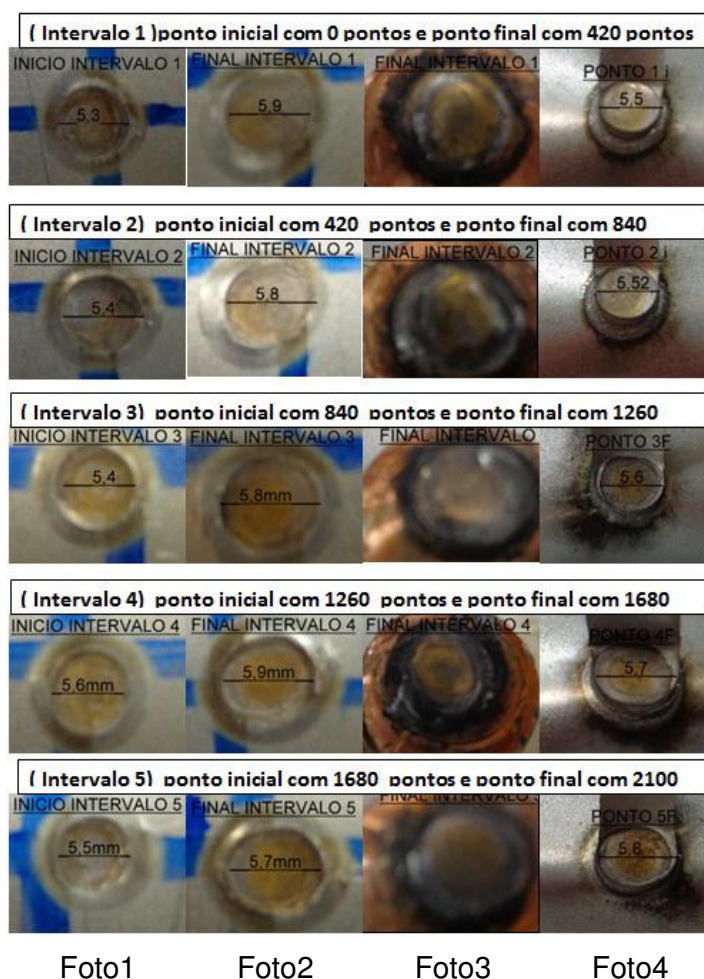


FIGURA 44 Qualidade dos pontos de solda x QTDE de fresagens dos intervalo 1 a 5

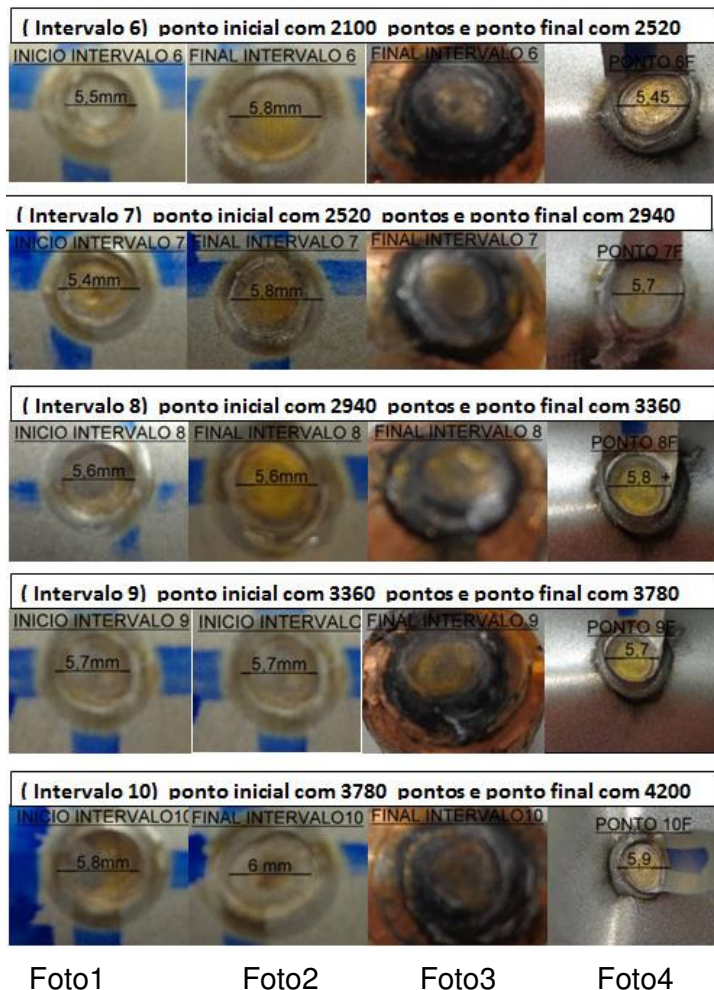


FIGURA 45 Qualidade dos pontos de solda x QTDE de fresagens dos intervalo 6 a 10

Nas figuras acima são mostrados a qualidade dos pontos de solda ao longo dos intervalos de fresagem, não foi percebido defeitos superficiais nos pontos iniciais e finais de cada corpo de prova, isso mostra que as fresagens foram eficientes na limpeza das superfícies das capas de eletrodos, percebe-se também que os pontos de soldas após o teste de arrancamento são uniformes, ou seja, houve fusão das chapas nas dimensões mínimas e segundo os testes não houve rompimento por cisalhamento de superfície sem aderência, em todos os pontos houve “ruptura por desbotoamento”.

5.3 DUREZA DAS CAPAS DE ELETRODO

A Tabela 6 mostra os resultados das durezas encontradas ao longo dos intervalos de fresagem e também as respectivas alturas “H”.

Em cada par de capas foram executados duas medições, uma no centro e outra deslocada em 3 mm para a periferia da capa.

Tabela 6 Resultados dos ensaios de dureza em Brinell

	DUREZA HB centro	DUREZA HB	PONTOS	MEDIDA H
S/ FRESA			0	21,8
NOVA	124	134	0	21,2
1	61	71	420	21,2
1	72	74,5	420	21,2
2	79,8	75,9	840	20,8
2	73	90,5	840	20,8
3	68,7	86,3	1260	20,5
3	108	103	1260	20,5
4	76,7	87	1680	20,2
4	75,8	76,7	1680	20,2
5	78,6	90,7	2100	19,8
5	77,1	91,9	2100	19,7
6	75,5	89,1	2520	19,4
6	71,9	87,1	2520	19,3
7	81,6	81	2940	19
7	85	83	2940	18,9
8	92,3	79,2	3360	18,5
8	75,7	80,4	3360	18,5
9	77,1	94,8	3780	18,2
9	79,2	86,9	3780	18,2
10	78,3	82,9	4200	18
10	79	76,3	4200	17,9

Como são duas capas de eletrodo para cada intervalo, na tabela existem quatro medidas para cada intervalo, duas para a capa superior e duas para a capa de eletrodo inferior.

A tabela mostra também a altura “H” de cada capa de eletrodo, pois a cada fresagem essa medida é diminuída mais ou menos 3 décimos de mm.

Conforme verificado por (BRANCO, 2004), As capas de eletrodo de cobre livre de oxigênio, possuem uma boa resistência mecânica e por isso não apresentaram grandes variações de dureza ao longo dos intervalos de fresagens, apenas na primeira fresagem houve uma queda acentuada na dureza, essa queda é devido ao recozimento isotérmico explicado por (YEUNG E THORNTON, 1999).

5.4 METALOGRAFIA

Os testes metalgráficos foram realizados para verificar a existência de possíveis poros no interior do ponto de solda uma vez que apenas com os testes de arrancamento não é possível a sua detecção.

As amostras foram preparadas de forma convencional, constituindo em embutimento em baquelite, lixamento nas granulometrias de 180, 320, 600, 800, 1200 e posterior polimento utilizando-se pasta alumina de 1 μ m, seguindo-se ataque químico de ácido nítrico a 10% por 5s, lavagem em água e secagem com secador térmico.

Os lixamentos e polimentos foram realizados em um equipamento automático da marca BUEHLER modelo VECTOR POWER HEAD conforme FIGURA 46.



FIGURA 46 Politriz automática

Para a análise de descontinuidades, as amostras foram verificadas em um microscópio da marca OLYMPUS modelo SZ CVT, com o software ANALYSIS V 1,5.

Para cada corpo de prova foram cortados os pontos finais de cada intervalo, pois são os pontos mais críticos, desta forma foram retirados 10 amostras conforme FIGURA 47.

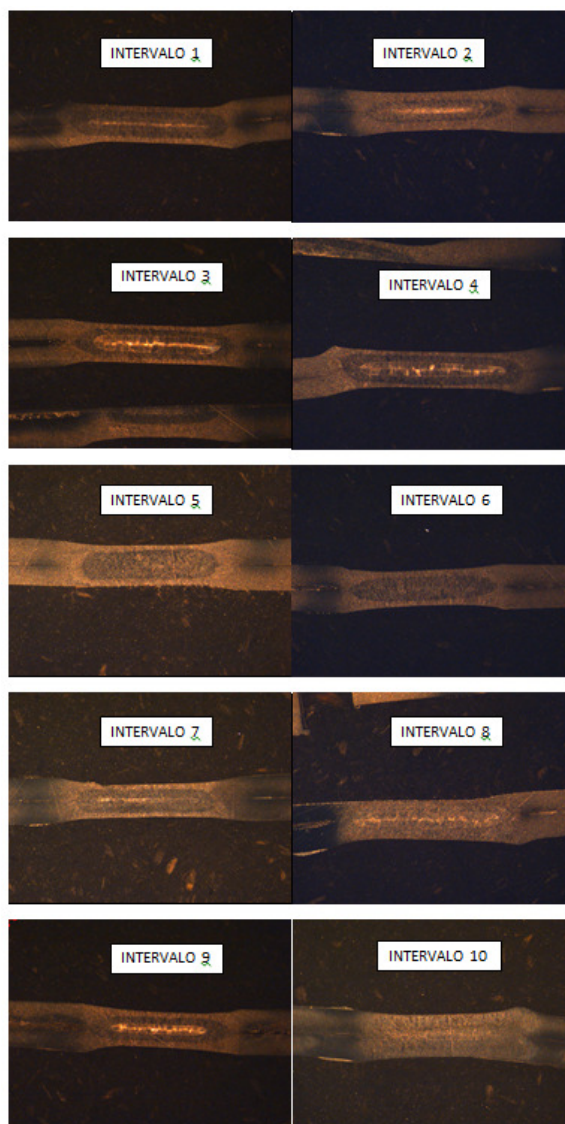


FIGURA 47 Amostras metalográficas

A FIGURA 47 mostra que não foram encontrados descontinuidades (trincas ou poros) dentro ou ao redor da área dos pontos de solda, mostrando que as amostras avaliadas estão OK bem como os pontos de cada intervalo.

5.5 VERIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DAS CAPAS COM AS FRESAGEM

Os cálculos de produtividade das capas de eletrodo foram feitos considerando 5 dias de produção por semana e 4 semanas por mês.

A quantidade de peças por turno é 250 peças somando um total de 750 peças por dia.

A Tabela 7 abaixo mostra uma comparação entre a produtividade e custo das capas sem fresagem e capas com fresagem, porém, os dados são referentes apenas para uma estação de trabalho.

Tabela 7 Produtividade das capas sem fresagem X capas com fresagem

DESEMPENHO DAS CAPAS		
	SEM FRESAGEM	COM FRESAGEM
Quantidade de pontos de solda por Peça	21	21
Quantidade de fresagens	0	10
Quantidade de pontos por fresagens	0	420
Quantidade de pontos por cada par capas	819	4200
Quantidade de peças por cada par de capas	39	200
Quantidade de par de capas para uma produção de 250 peças por turno	6,41	1,25
Quantidade de par de capas para uma produção de 750 peças por dia	19,23	3,75
Quantidade de capas por dia de produção	38,46	7,50
Preço de cada capa	R\$ 0,98	R\$ 0,98
Custo diário	R\$ 37,69	R\$ 7,35
Custo mensal de 5 dias por semana e 4 semanas por mês	R\$ 753,85	R\$ 147,00
Custo anual	R\$ 9.046,15	R\$ 1.764,00
Diferença	R\$ 7.282,15	

Com a instalação das fresadoras existe uma previsão de redução de 80% no custo com a compra de capas de eletrodos, ou seja, antes da instalação das fresadoras, a quantidade de capas utilizadas por mês (20 dias) era de 769 unidades, após a instalação essa quantidade foi reduzida para 150 capas por mês, em um ano essa diferença é de 7428 unidades a menos.

Em valores financeiros, como cada capa custa R\$0,98 a redução com a compra de capas novas total por ano será de R\$7.282,00.

Na FIGURA 48 pode-se verificar a diferença entre o custo com capas sem fresagem e capas fresadas durante um ano. Como a diferença mensal é de R\$ 606,85 reais conforme mostrado na tabela 7 acima e o investimento com a compra e instalação da fresadora é de R\$6.000,00, observa-se que o “payback” se dará em 10 meses com um “saving” de R\$1.764,00 reais no primeiro ano de utilização da fresadora.

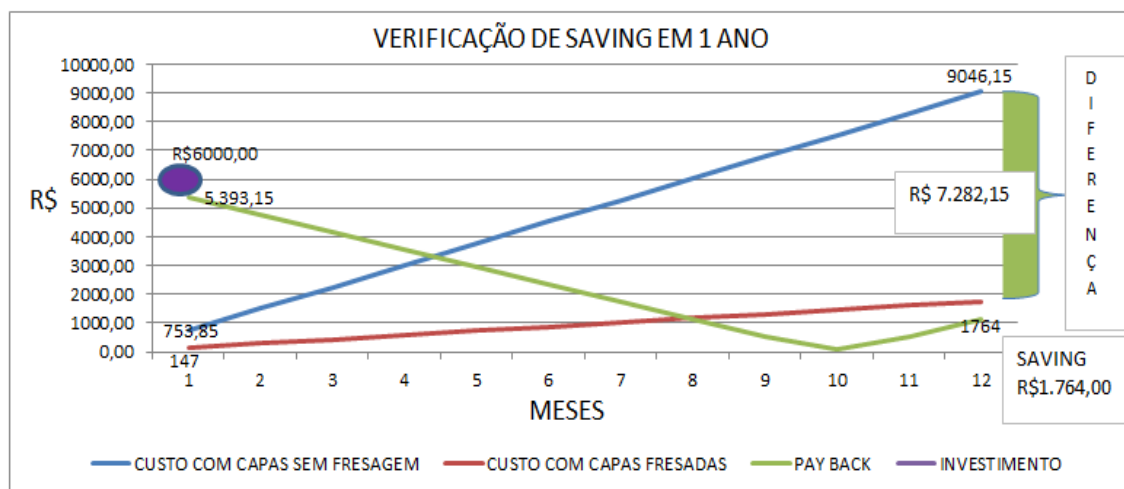


FIGURA 48 Verificação de “saving”

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, é possível concluir:

6.1 IMPLEMENTAÇÃO DA FRESADORA;

Após uma verificação das necessidades dos setores diretamente envolvidos, foi possível desenvolver junto aos fornecedores uma fresadora.

Em virtude do fator segurança e produtividade, ficou estabelecido que as fresadoras devem ser do tipo semiautomática, onde a operação pode ser executada por apenas um operador.

Para a conservação do equipamento, a fresadora deve se comunicar com o controlador de solda e cortar a corrente de solda quando for executado a fresagem.

6.2 QUALIDADE DOS PONTOS DE SOLDA;

Os testes de soldas das capas e os ensaios metalográficos mostram que em termos de qualidade de solda, o processo de fresagem proporciona uma boa qualidade, pois não foram observados defeitos superficiais nos pontos de solda ao longo dos intervalos e também não foram encontrados poros.

6.3 DUREZA;

Os testes de dureza das capas mostram que ocorreu uma queda acentuada na primeira fresagem devido o primeiro teste de dureza ter sido feito em uma capa nova, portanto, sem ter sofrido o processo de recozimento isotérmico provocado pela camada de latão na superfície da capa que é formada durante o processo de soldagem conforme verificado por (REU, 1997) e citado por (INTERMACHINERY, 2003).

Nas fresagens subsequentes a dureza manteve-se estável, esse fator foi fundamental na qualidade e quantidade de pontos de solda por intervalo.

A quantidade de material retirado em cada fresagem foi de 0,3mm e ao longo das 10 fresagens foi de 3mm, porém com os testes de dureza foi possível observar que as capas ainda mantiveram as características mecânicas podendo ainda ser aumentado a quantidade de fresagens.

6.4 PRODUTIVIDADE DAS CAPAS;

Com a implementação das fresadoras verificou-se que houve um aumento de produtividade das capas da ordem de 5X na estação de trabalho, ou seja, um aumento de 39 peças fabricadas para 200 peças fabricadas por cada par de capas.

Essa produtividade é devido à qualidade dos pontos e durabilidade das capas, porém, como pode ser observado com os testes acima citados, esse resultado não é definitivo, pois os parâmetros utilizados no controlador de solda e na fresadora ainda podem ser otimizados conferindo uma melhora nessa produtividade.

Essa otimização não foi executada devido ao fato de que em uma linha de produção, os equipamentos devem ser implementados de uma forma segura, dessa forma, optou-se por sermos conservadores nesse momento da instalação e garantir que não haveria problemas de solda ao longo da produção bem como não havia tempo hábil para a execução dessa otimização.

6.5 VIABILIDADE ECONÔMICA;

O ganho estimado com a implementação de fresadoras é bem significativo, porém não é único, além do ganho direto com a redução de capas de eletrodo, existem outros ganhos que não foram abordados neste trabalho tais como;

Ganho com a redução de hastes de eletrodo, pois existe uma redução na troca das capas e conseqüentemente há também uma redução no desgaste dos cones das hastes de eletrodo;

Ganho com a redução no tempo de troca devido ao tempo de fresagem ser menor;

Ganho com a redução no consumo de energia elétrica devido a corrente de solda utilizada com as capas de eletrodo fresadas ser menor em relação a capas de eletrodo sem fresagem.

Com as fresagem das capas de eletrodo e utilização da rampa de subida de corrente para compensação da distorção das capas ao longo dos intervalos, foi possível comprovar a eficiência desse procedimento, pois a compensação de corrente de solda, "curva de corrente", na programação de implementação das fresadoras ficou em 10% e foi observado nos ensaios de arrancamento que, além de compensar a pouca deformação das capas de eletrodo, houve um aumento do

diâmetro do ponto de solda, isso mostra que existe espaço para uma possível otimização dos parâmetros, porém, isso deve ser feito com cautela, pois quando se aumenta a quantidade dos pontos de solda por intervalo, trabalha-se mais perto do limite das capas de eletrodo e com isso corre-se o risco de produzir peças com pontos soltos ou pontos com diâmetro inferior ao mínimo especificado pela norma.

Como foi observado no gráfico da FIGURA 48, o “payback” se dará em 10 meses de utilização das fresadoras e em um ano de utilização haverá um “saving” de R\$1.764,00 mostrando que é viável a instalação de fresadoras para máquinas de solda (pinças de solda) manual.

Para o segundo ano de utilização a previsão de “saving” é de R\$7.282,85 apenas para a estação avaliada neste trabalho.

7 TRABALHOS FUTUROS

Na realização deste trabalho, objetivou-se apresentar as vantagens de se implementar uma fresadora de capas de eletrodo para máquinas de solda manuais com escalonamento de corrente, porém, surgiram algumas dúvidas devido à abrangência do assunto e estas despertaram um desejo de compará-las com os resultados obtidos neste estudo, dessa forma apresentam-se algumas sugestões.

Executar um estudo comparativo entre as diferentes quantidades de pontos de solda nos intervalos de fresagem para uma mesma estação de trabalho;

Avaliação da vida útil das hastes de eletrodo com a implementação de fresagem de capas de eletrodo;

Estudo de produtividade das capas de eletrodos entre as diferentes estações de trabalho de uma empresa.

Fazer um estudo comparativo entre a produtividade das capas de eletrodo de uma estação automática e uma estação de solda manual com fresagem de capas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASHE, S.; ZHANG, H. Selection of Schedules Based on Heat Balance in Resistance Spot **Welding**. **Welding Journal**, Jul. 2003, p. 179 S – 183S.

AWS – AMERICAN WELDING SOCIETY, **Jefferson's Welding Encyclopedia**. 18th Edition. Miami: 1997. p. 430.

BRANCO, HIDERALDO OSÓRIO, **Avaliação de Capas de Eletrodos Utilizadas na Soldagem por Resistência de Chapas Galvanizadas Automotivas**, Curitiba 2004.

BLAKELEY, P. **Resistance Spot Welding** – at Maximum Speed. **Welding & Metal Fabrication**, Sep. 2000, 2 p.

CHIEN, C. S.; ASIBU, Jr. E. Kannatey. **Investigation of Monitoring Systems for Resistance Spot Welding**. **Welding Journal**, Sep. 2002, p. 195S – 199S.

ETS. **Manual de Dressagem ETS**. 2000, 20 p.

INTERMACHINERY. **Fundamentos da Soldagem por Resistência**. São Paulo, 2002.

INTERMACHINERY. **Manual de Treinamento do Nitrode**. São Paulo, 2002.

INTERMACHINERY, Comércio Ltda. **I Seminário de Solda a Ponto**. São Paulo, 2003, CD-ROM.

KARAGOULIS, MICHAEL, J. **Welding, Brazing and Soldering**. v.6. Florida, USA: General Motors Corporation, 2000.

LIMERT, E. GEORGE. **Welding Metallurgy Carbon and Alloy Steels**. V1. 4ª edição Miami, Florida, USA: AWS American Welding Society, 2001.

MARQUES, PAULO VILLANI - **Tecnologia da Soldagem / Coordenação de Paulo Villani Marques**. - Belo Horizonte: ESAB, 1991.

MATERELS INFORMATION SOCIETY. **International Handbook Committee** ASM, V6. 2º ed. 2003.

REU Schweisstechnik GmbH – **Recycling Entwicklungs Unternehmen. Grundlagen der Widerstandsschweisstechnik**. 1997, 336 p.

RWMA - **Resistance Weding Manufacturing Alliance**. Eletrodos e Ferramentas Utilizadas no Processo de Soldagem por Resistência Elétrica. 2002. p. 1 – 13.

TECNOWELDING Comércio Ltda. **Fundamentos do Processo de Soldagem a Resistência**. 2004, 70 p.

WAINER, Emílio et al - **Soldagem Processos e Metalurgia** / Coordenação de Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi, Fábio Decourt Homem de Mello. - São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992.

SCHARFF, Robert; CARUSO, Dave. **Complete Automotive Welding Metals and Plastic**. Delmar Publishers Inc. 1990.